

Avanserte materialer Norge 2020
Vår utfordrende nano- og materialfremtid



Norges forskningsråd

fore  sight



Avanserte materialer Norge 2020

Sluttrapport fra et foresight-prosjekt

Prosjektgruppen

Spesialrådgiver Astrid Brenna, (prosjektleder)	Norges forskningsråd/Satsinger/Innovasjon
Professor Helmer Fjellvåg	UiO, Senter for materialvitenskap og nanoteknologi
Professor Jan Petter Hansen	Universitetet i Bergen, Fysisk institutt
Rådgiver Aase Hundere	Norges forskningsråd/Vitenskap/Satsinger
Programkoordinator Dag Høvik	Norges forskningsråd/Satsinger
Spesialrådgiver Dag Kavlie	Norges forskningsråd/Innovasjon
Industridesigner Kjersti Kviseth	kk design
Programrådgiver Hjalmar Sigurdsson	Norges forskningsråd/Innovasjon
Forskningsdirektør Aage Stori	SINTEF Materialer og kjemi
Professor Sigurd Støren	NTNU, Inst. for produktutvikling og materialer
Direktør Ellen D. Tuseth	Norspace AS
Spesialrådgiver Ellen Veie	Norges forskningsråd/Satsinger
Forskningsjef Håkon Westengen	Hydro Competence Center
Spesialrådgiver Lars A. Ødegaard	Norges forskningsråd/Satsinger
Spesialrådgiver Erik F. Øverland	Norges forskningsråd/Satsinger

© Norges forskningsråd 2005

Norges forskningsråd
Postboks 2700 St. Hanshaugen
0131 OSLO
Telefon: 22 03 70 00
Telefaks: 22 03 70 01
bibliotek@forskningsradet.no
www.forskningsradet.no
Publikasjonen kan bestilles via internett:
www.forskningsradet.no/bibliotek/publikasjonsdatabase
eller grønt nummer telefaks: 800 83 001

Grafisk design omslag: Melkeveien designkontor og PowerPrint Norge AS

Fotokreditt omslag: merd: Vidar Vassvik; ny merd: Sintef; torsk: Eksportutvalget for fisk;
nano: Pjotr Rotkiewics; aluminiumbjelker: Hydro; dråpe: Zefa/Scanpix; mobiltv: Finn Halvorsen;
gutt: Jarle Brevik/Scitorium

Redaksjonell rådgiver: Claude R. Olsen
Layout: Atle Abelsen
Trykk: PowerPrint Norge AS
Opplag: 1000

ISBN trykksak: 82-12-02225-0
ISBN nettversjon: 82-12-02226-9

Oslo, oktober 2005

Forord

Alle produkter vi omgir oss med er laget av materialer. Dette tar vi som en selvfølge, og materialene blir derfor lett usynlige for oss. Men nyvinninger innenfor materialer er en forutsetning for fremskritt innenfor så ulike sektorer som energiteknologi, transport, olje og gass, havbruk, medisinsk teknologi og IKT. Nanoteknologi er utropt som en ny teknologisk revolusjon med et enormt potensial og stort nedslagsfelt.

Norge har satset lite på materialforskning i forhold til sammenliknbare land samtidig som den norske satsingen har vært fragmentert. En grunn til dette kan være at Norge ikke har hatt en helhetlig strategi eller handlingsplan på dette viktige forskningsområdet siden slutten av 1980-tallet. Sentrale norske forskningsmiljøer tok i 2001 selv initiativ til å sette materialforskningen på agendaen, ved å etablere FUNMAT-konsortiet. Forskningsrådets program «Nanoteknologi og nye materialer» (NANOMAT) som ble startet i 2002, var et viktig ledd i oppfølgingen av dette initiativet. I Forskningsmeldingen «Vilje til forskning» som ble vedtatt av Stortinget i juni 2005, er nanoteknologi og nye materialer pekt ut som ett av tre teknologiområder det skal satses spesielt på.

Forskningsrådet har de siste 3 årene hatt materialforskning som ett av sine prioriterte områder. Foresight-prosjektet *Avanserte materialer Norge 2020* fikk i oppgave å fremskaffe bedre kunnskapsgrunnlag for Forskningsrådets videre arbeid med prioriteringer, virkemiddelbruk og organisering av forskning og innovasjon innenfor materialteknolog og nanoteknologi.

Forskningsrådet har vært opptatt av at foresight-prosjektet skulle ha en bred involvering av ulike aktører med interesser innenfor materialer og nanoteknologi. Prosjektet har vært organisert med en uavhengig prosjektgruppe bestående av ressurspersoner fra forskning og næringsliv samt medarbeidere i Forskningsrådet. Prosjekt-

gruppens medlemmer ble oppnevnt av Divisjon for store satsinger i samråd med Divisjon for vitenskap og Divisjon for innovasjon. Prosjektgruppen har avholdt flere seminarer som til sammen har involvert mer enn 80 personer fra forskning, næringsliv, organisasjoner og myndigheter. Prosjektet ble gjennomført i perioden mai 2004 til august 2005.

Kunnskapsgrunnlaget som er tatt frem, vil bli benyttet i flere sammenhenger. Dels vil det inngå som underlag i det videre arbeid med en nasjonal plan for nanovitenskap og nanoteknologi, dels som underlag for videreføring av NANOMAT som stort program. Det vil også inngå som kunnskapsgrunnlag for strategiarbeid og prioriteringer i de to andre divisjonene i Forskningsrådet. Resultatene fra prosjektet vil også diskuteres i en synteserapport sammen med resultatene av fremsynsprosjektene *Biotek Norge 2020*, *UTSIKT: Utviklingsmuligheter og strategivalg for IKT, Energi 2020+ og Havbruk 2020 – Grensesprengende hvis...* Endelig håper vi at denne rapporten kan være en nyttig kunnskapskilde for norske myndigheter, fremtidige programstyrer og ulike aktører med interesser innenfor material- og nanoteknologi.

Vi vil gjerne rette en varm takk til alle som har deltatt i fremtidsprosjektet *Avanserte materialer Norge 2020*. Det er ingen tvil om at prosjektet har representert et nybrottsarbeid i Forskningsrådet. Gjennom prosjektet har Forskningsrådet fått tilgang til et vell av synspunkter og vurderinger som vil komme til nytte i arbeidet med å forme den fremtidige satsingen på material- og nanoteknologi. Deltakerne på samlingene har gitt av sin tid og kreativitet i en hektisk hverdag og fortjener en stor takk for sine bidrag! Ikke minst vil vi gi honnør til prosjektgruppen, ledet av Astrid B. Brenna, for en imponerende innsats. Vi vil også rette en spesiell takk til Erik F. Øverland som har vært ansvarlig for designen av prosessen.

Oslo, oktober 2005

Christina Abildgaard
Fungerende divisjonsdirektør
Divisjon for store satsinger

Tone Vislie
Fungerende avdelingsdirektør
Divisjon for store satsinger

Innhold

Forord	3
Innhold.....	4
Sammendrag....	5
Innledning.....	7
Definisjon av material- og nanoteknologi	8
Materialteknologisk forskning i Norge	9
Forskningsrådets prioriteringer og finansiering	9
Status norsk forskning innenfor material- og nanoteknologi	10
Materialforskning i norsk næringsliv	11
Internasjonale trender og prioriteringer	13
Nanoteknologi og foresight	13
Prioriteringer	13
Samfunn og næring – betydning, status og muligheter	16
Materialindustriens betydning for verdiskapingen i Norge	16
Material- og vareproduksjon	17
Transport, mobilitet og kommunikasjon	20
Helse, velferd og livsstil	22
Energi	24
Bygg, anlegg og eiendomsforvaltning	26
Olje og gass	27
Informasjons- og kommunikasjonsteknologi – IKT	28
Bioteknologi	29
Havbruk	30
Miljø, resirkulering og gjenbruk	31
Næringsmidler og emballasje	32
Nye teknologier – Helse, miljø, etikk og samfunn	34
Fremtidsbilder av material- og nanoteknologien i Norge	35
Foresight og scenarier	35
Forvitring eller fornyelse	37
Scenario 1: Tradisjon gir resultater!	38
Scenario 2: Innovated in Norway	43
Scenario 3: Fra vugge til vugge	48
Dialog om materialer til BAE-næringen frem mot 2020	53
Dialog om materialer i olje- og gassektoren frem mot 2020	54
Strategiske anbefalinger	55
Hovedmål	55
Mål for Material-Norge i 2020	56
Hovedutfordringer	57
FoU-utfordringer og kompetansebehov	57
Forslag til prioriterte tiltak	57
Vedlegg	61
Vedleggsrapporter	61
Referanser	61
Bibliografi	61
Deltakere i prosjektet Avanserte materialer Norge 2020	64

Sammen drag

Historiske epoker som steinalder, bronsealder og jernalder har fått navn etter materialene menneskene hadde til rådighet, noe som understreker materialenes sentrale rolle som en drivkraft for den historiske utviklingen. Fra vår egen tid er utviklingen av bilen, transistoren, PC-en og laseren resultater av materialtekniske fremskritt. Også i fremtiden vil materialteknologi være en sentral drivkraft i den teknologiske utviklingen. Den gryende satsingen innenfor nanoteknologi er bare starten på en utvikling som i stor grad vil komme til å prege vår hverdag.

Norge er en stor produsent og avansert bruker av materialer. Førstehåndskunnskap om produksjonsteknologi, videreforedling og bruk av ulike materialer er en forutsetning for å kunne opprettholde en konkurransedyktig råvareproduksjon. Avansert og riktig bruk av tradisjonelle og nye materialer er videre en avgjørende forutsetning for en stor del av vår industrielle virksomhet, eksempelvis innenfor forsvarlig utbygging og drift av olje- og gassfelt på norsk sokkel, utnyttelse av fornybare energikilder, en effektiv bygg- og anleggssektor, trygge havbruksanlegg, utvikling og sikker bruk av medisinsk-teknisk utstyr og utvikling og produksjon av elektronikkutstyr.

Material- og nanoteknologi er utløsende teknologier som svært mange andre teknologiområder bygger videre på. De vil være avgjørende for en viktig del av næringslivet og

den fremtidige industrielle verdiskapingen og levestandarden i Norge. Det må derfor satses riktig og tilstrekkelig på forskning innenfor sentrale områder av spesielt stor betydning for norsk næringsliv i et langsiktig perspektiv.

Prosjektet «Avanserte materialer Norge 2020» ble igangsatt for å utvikle perspektiver frem mot år 2020 som underlag for Forskningsrådets strategiske arbeid med prioriteringer, virkemiddelbruk og organisering av forskning og innovasjon innenfor material- og nanoteknologi. Prosjektet ble igangsatt våren 2004 som en åpen, dialogbasert prosess styrt av en egen prosjektgruppe utnevnt av Forskningsrådet. Prosjektgruppe besto av Forskningsrådets egne saksbehandlere og en rekke sentrale personer fra forskning, utdanning og næringsliv. Gruppen representerte stor faglig bredde innenfor feltet. I tillegg ble det involvert en rekke fageksperter, personer med ulik bakgrunn fra næringslivet, samt ulike offentlige og private beslutningstakere og meningsbærere.

Hovedresultatet fra prosjektet foreligger i form av strategiske anbefalinger som prosjektgruppen har utarbeidet. Anbefalingene baserer seg på de ulike fremtidsscenariene som i stor grad ble utviklet gjennom en aktiv dialog mellom alle deltakerne i prosessen, samt en grundig oversikt over den samfunns- og næringsmessige betydningen material- og nanoteknologi har i Norge i dag, og mulighetene disse teknologiområdene forventes å få for Norge i fremtiden.

Hovedmål

Prosjektets hovedanbefaling er formulert i følgende hovedmål for Norge i 2020:

Norge skal bli en innovativ bruker og produsent av materialer og bli verdensledende innenfor utvalgte nisjer der vi har naturgitte eller kompetansemessige fortrinn. Økt verdiskaping og spennende arbeidsplasser i eksisterende og nye bedrifter skal baseres på avansert kunnskap om materialer og nanoteknologi.

I tillegg ble det definert egne hovedmål for de samfunnsområder og næringssektorer der materialer inngår som en sentral utløsende faktor.

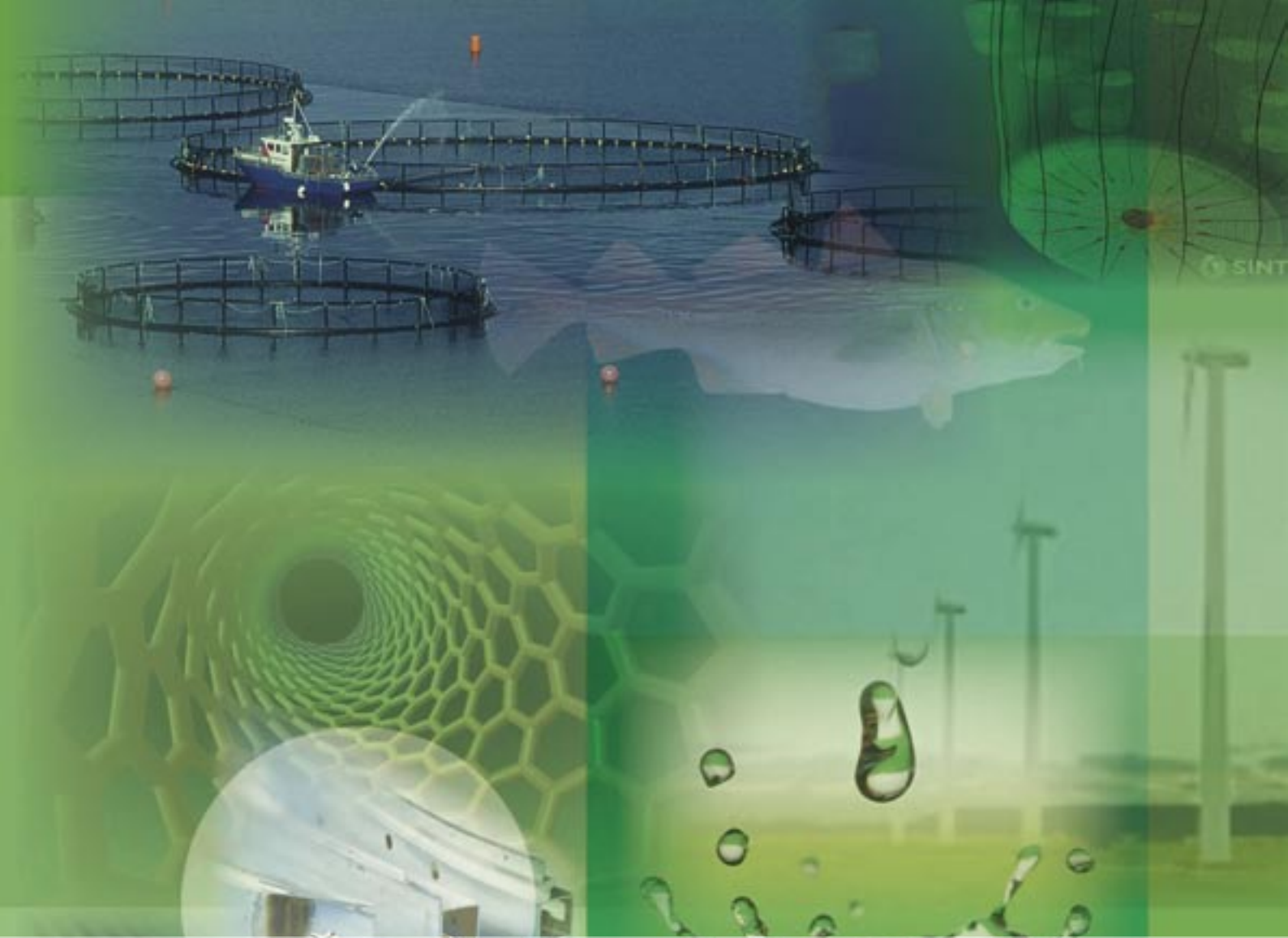
Hovedutfordringene for å nå målene

- Det må oppnås en klar erkjennelse i samfunnet av at *materialteknologi og nanoteknologi har en helt avgjørende rolle* for velferdsutviklingen og næringslivets konkurransevne, alene eller i samspill med andre teknologiområder.
- Det må bygges opp og videreutvikles *forsknings- og utdanningsmiljøer på internasjonalt toppnivå* innenfor
 - nasjonalt viktige materialområder for å sikre nasjonal kunnskapsbase og fornyelse av norsk næringsliv. Dette er avgjørende for materialproduserende industri og sterke norske materialbrukende næringer som olje- og gassektoren, marin og maritim sektor, samt deler av den vareproduserende industri og bygg- og anleggssektoren.
 - utvalgte nisjer av funksjonelle materialer og nanoteknologi som kan gi grunnlag for et nytt materialbasert næringsliv samt kan videreutvikle eksisterende næringsliv.
- Det må etableres *nettverk mellom næringslivet og disse fremragende forsknings- og utdanningsmiljøene*. Gode nettverk og samarbeidsrelasjoner er avgjørende for å stimulere til utvikling av en skog av avanserte små og mellomstore bedrifter samt videreutvikling av kunnskapsrike materialbedrifter.

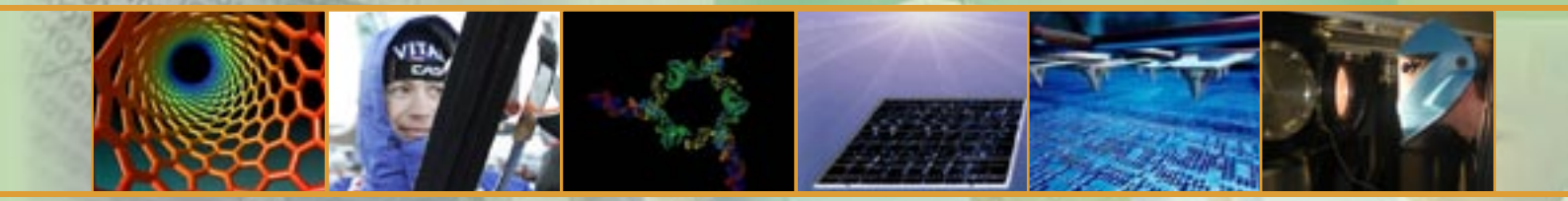
Prioriterte tiltak

De viktigste tiltakene for å møte disse utfordringene og lykkes i å nå målene er:

- Etablere en nasjonal langsiktig forsknings-satsing innenfor nanoteknologi, tradisjonelle materialer, funksjonelle materialer og komplette løsninger gjennom tredobling av den offentlige prosjektfinansieringen fra Forskningsrådet til forskningsfeltet innen 2010 med ytterligere opptrapping mot 2020. Satsingen må være balansert mellom nye og tradisjonelle materialer, og mellom nygjerrighetsdrevet, strategisk og brukerstyrt forskning.
- Styrke NANOMAT-programmet. Dette bør være Forskningsrådets hovedsatsing innenfor nanoteknologi, funksjonelle og nye materialer. Nanostrukturerte materialer, materialer og nanoteknologi for ny energiteknologi og IKT/mikroteknologi bør være hovedprioriteringene for den grunnleggende forskningen i programmet. NANOMAT må trappes opp til 150 mill. kr. innen 2007 og til 250 mill. kr. i 2010. Programmet må ha en god balanse mellom grunnleggende, strategisk og brukerstyrt forskning. Det må gjøres attraktivt for næringslivet å delta i programmets satsinger.
- Stimulere til nasjonal koordinering av materialforskningen, sterk forskningsledelse, arbeidsdeling og samarbeid mellom forskergrupper.
- Stimulere til økt internasjonalt samarbeid med søkelys på samspill mellom sterke, komplementære forskningsmiljøer.
- Utarbeide en nasjonal strategiplan for nanovitenskap og nanoteknologi. Planen må få konsekvenser for prioriteringer og budsjettutvikling i Forskningsrådet og de berørte FoU-institusjonene.
- Stimulere til samspill med andre teknologiområder – bioteknologi, medisinsk teknologi og IKT.
- Bedre koordineringen av materialrelatert forskning internt i Forskningsrådet, bl.a. ved å opprette et koordineringsutvalg for material- og nanoteknologi og ved løpende vurdering av behov for nye strategiske materialorienterte programmer eller satsinger.
- Styrket samfunnsdialog rundt og integrering av nanoteknologiforskningen med analyser av etiske, helsemessige og miljømessige problemstillinger knyttet til nanoteknologi.



Status, muligheter og utfordringer



Innledning

Formålet med prosjektet «Avanserte materialer Norge 2020» er å utvikle perspektiver frem mot år 2020 som underlag for Forskningsrådets strategiske arbeid med prioriteringer, virkemiddelbruk og organisering av forskning og innovasjon innen materialteknologi inklusive nanoteknologi.

Utgangspunktet for arbeidet var visjonen om «Norge som en innovativ bruker og produsent av materialer i 2020».

Prosjektet ble satt i gang våren 2004 som en åpen, dialogbasert prosess styrt av en prosjektgruppe utnevnt av Forskningsrådet. Prosessen ble basert på foresight-metodikk med deltakerstyrt tilnærming, for å sikre bred deltakelse og størst mulig kreativitet.

Hovedelementet i prosessen var utvikling av fremtidsscenerier i en interaktiv dialog mellom deltakere på ulike nivåer og med ulik bakgrunn. Scenariene for Material-Norge i 2020 ble tilbakekoblet til dagens situasjon slik at man gjennom strategiske valg og beslutninger så langt som mulig kan påvirke utviklingen i ønsket retning. Det ble lagt stor vekt på å ikke begrense analysene til rent tekniske perspektiver og muligheter, men også å trekke inn aspekter knyttet til etikk, miljø og den generelle samfunnsutviklingen. Prosessen er nærmere beskrevet i kapitlet «Fremtidsbilder av material- og nanoteknologien i Norge» (s. 35) og en separat vedleggsrapport.

Utgangspunktet for prosjektet var at material- og nanoteknologi de siste årene har fått betydelig oppmerksomhet om hvilke muligheter disse teknologiene kan skape for nytt og innovativt næringsliv. Norge har ikke hatt noen helhetlig strategi for materialteknologisk forskning siden slutten av 1980-tallet. Prosjektet ble derfor igangsatt for å gi nye innspill og helhetlige strategiske anbefalinger til Forskningsrådet innen material- og nanoteknologisk forskning i et langsiktig perspektiv.

Forventede leveranser fra prosjektet var følgende:

- Oppdatert status for Norge innen materialforskning og nanoteknologi
- Oversikt over internasjonale trender
- Bredt forankrede perspektiver og strategiske anbefalinger
- Kunnskapsgrunnlaget for:
 - strategiarbeid og prioriteringer i alle de tre divisjonene i Forskningsrådet
 - videreføring av NANOMAT som stort program
- Andre effekter av prosjektet:
 - Økt forståelse for den samfunnsmessige betydningen av materialer og nanoteknologi
 - Nye nettverk, dialog og åpenhet

Prosjektet ble ledet av en prosjektgruppe som foruten Forskningsrådets egne saksbehandlere besto av en rekke sentrale personer fra forskning, utdanning og næringsliv, og som representerte stor faglig bredde innen material- og nanoteknologi. I tillegg engasjerte prosjektet et stort antall personer med ulik bakgrunn i scenarioprosessen. De representerte et tverrsnitt av materialteknologier, materialprodusenter, designere, produktutviklere og brukere av materialer samt offentlige beslutningstakere. Fagfeltet er meget bredt, og det ble lagt stor vekt på å oppnå riktig balanse mellom nye materialer, nanoteknologi og tradisjonelle materialer som lettmetaller, plast og plastkompositter, ferrolegeringer, trematerialer og betong. Samtidig ble det siktet mot å foreta prioriteringer som gjenspeiler områdene og sektorene der Norge har spesielt gode muligheter til å bli blant de ledende innen innovativ fremstilling og bruk av materialer.

Prosjektet tok utgangspunkt i internasjonale trender innenfor materialteknologi og nanoteknologi, og så på status og muligheter i Norge, både forskningsmessig og industrielt. Hovedresultatet fra prosjektet er de strategiske anbefalingene som prosjektgruppen har utarbeidet med utgangspunkt i prosessen som helhet (s. 55).

Definisjon

av material- og nanoteknologi

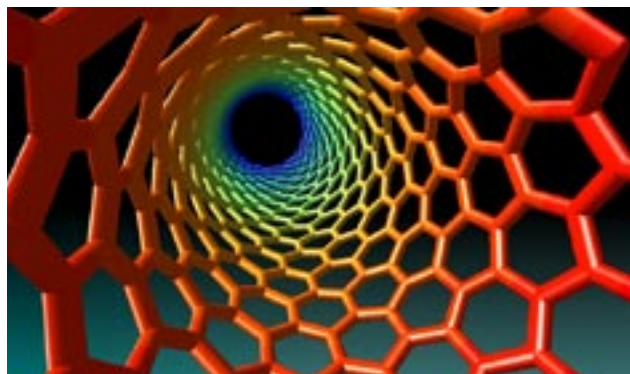
Materialteknologi er på linje med IKT og bioteknologi en nøkkelteknologi for å sikre levestandarden i de industrialiserte land og stimulere til fortsatt økonomisk vekst i resten av verden.

Innovasjoner knyttet til nye materialer er svært ofte en forutsetning for fremskritt innen andre områder som transport, IKT, olje- og gassproduksjon, romfart, medisin, miljøteknologi og fornybar energi.

Materialer deles i to hovedgrupper, strukturelle og funksjonelle materialer:

- *Strukturelle materialer* er i de fleste tilfeller konstruksjonsmaterialer som stål, lettmetaller (aluminium, magnesium, titan), plast, kompositter, tre og betong. Slike materialer har en sentral plass innen transport, utnyttelse av olje og gass, infrastruktur, bygningsindustri og husholdningsartikler. Norsk materialforskning er i dag hovedsakelig rettet mot slike materialer, med vekt på miljøvennlig og energieffektiv materialproduksjon samt utvikling av lette materialer og nye produkter basert på disse.

- *Funksjonelle materialer* omfatter materialer der bruken er knyttet til spesielle kjemiske eller fysiske egenskaper. De kan være



Materialteknologi er en **utløsende teknologi** («enabling technology») som ofte legger grunnlaget for fremskritt og nyvinninger innen andre teknologiområder.

Materialteknologi omfatter grunnleggende kunnskap om materialenes funksjon og brusegenskaper, og metoder og teknikker for fremstilling, bearbeiding, fabrikasjon og gjenvinning.

Nanoteknologi er arbeid på atomært og molekylært nivå for å designe, fremstille, manipulere og anvende materialer, komponenter og systemer med nye mekaniske, funksjonelle og biologiske egenskaper.

halvlederegenskaper, fotovoltaiske egenskaper, magnetiske eller optiske egenskaper samt evne til energilagring. Slike materialer har i løpet av de siste tiårene vært utslagsgivende for teknologiske gjennombrudd innen datateknologi, telekommunikasjon, fornybar energi, intelligente sensorer, miljøteknologi og medisinsk utstyr. Dagens bruk av funksjonelle materialer anses bare å være begynnelsen på en ekspansiv utvikling mot nye banebrytende produkter og teknologier. Norsk og internasjonal materialforskning konsentreres stadig mer om slike materialer.

- *Nanomaterialer* kan omfatte både strukturelle og funksjonelle materialer. Nanoteknologiske metoder og teknikker åpner for en svært spennende utvikling av helt nye materialer med unike egenskaper. Kontroll med naturens byggesteiner gjør det mulig å utvikle materialer som er lettere og har bedre mekaniske egenskaper enn dagens materialer, eller å skreddersy biokompatible materialer til medisinske anvendelser. Internasjonalt – og etter hvert også i Norge – satses det sterkt på forskning innen nanomaterialer og nanoteknologi.

Materialteknologisk forskning i Norge

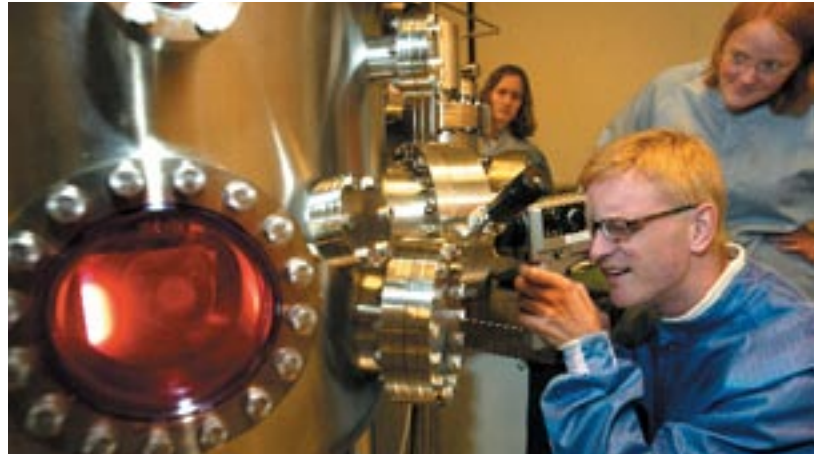
Forskningsrådets prioriteringer og finansiering

Materialforskning har fått et løft de siste fem årene med økte bevilgninger og økt oppmerksomhet. Samlet satsing er i 2005 ca. 200 millioner kroner mot ca. 133 millioner kroner i 2000. Hovedprioriteringene er nanoteknologi og funksjonelle materialer gjennom NANOMAT og lettmetaller gjennom nøkkelområdet NorLight.

På hele 1990-tallet manglet Forskningsrådet strategi og handlingsplan for materialteknologi, noe som medførte svært begrensede bevilgninger til dette forskningsfeltet. Norge skilte seg her ut i forhold til alle OECD-land som prioriterte materialteknologisk forskning like høyt som IKT og bioteknologi. Omslaget kom i 1999 med etableringen av materialteknologi som ett av 9 kompetansefelt for næringsrettet verdiskaping. Nøkkelområdet NorLight innenfor videreføring av lettmetaller ble satt i gang i 2001. Satsingen i 2005 er på 35 millioner kroner og gjennomføres ved SINTEF og NTNU. Den finansieres av de deltakende bedriftene og Forskningsrådet (23 millioner kroner).

Universitetet i Oslo (UiO), Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU), SINTEF og Institutt for energiteknikk (IFE) dannet i 2001 Konsortiet for funksjonelle materialer (FUNMAT) og la frem planer for en strategisk satsing og et nasjonalt samarbeid innen funksjonelle materialer. Forskningsrådets store program Nanoteknologi og nye materialer (NANOMAT) ble etablert i 2002 etter sterkt påtrykk fra FUNMAT overfor politikere og departementer. NANOMAT er Forskningsrådets hovedsatsing innen nanoteknologi og nye materialer og har i 2005 et budsjett på 65 millioner kroner.

Forskningsrådet har gjennomført evalueringer av fagområdene kjemi (1997), materialteknologi (1999), fysikk (2000) og ingeniørvitenskap (2004). Til tross for snevre rammevilkår i en



NTNU i Trondheim har bygd nytt nanolaboratorium. Foto: NTNU Info/Rune Petter Ness

årrekke har flere norske materialmiljøer fått positive vurderinger. Både kjemi- og fysikkevalueringene samt evaluering av ingeniørfagene anbefaler økt vekt på tverrfaglighet, nasjonalt og internasjonalt samarbeid samt økt doktorgradsutdanning. De påpeker at Norge har behov for å utvikle en bred vitenskapelig og teknologisk basis for en rekke sentrale materialkategorier, og at langsiktige perspektiver legges til grunn for samarbeid mellom industri, FoU-miljøer og UoH-sektor. Disse anbefalingene er kun i moderat omfang tatt til følge. I Forskningsmeldingen fremheves det spesielt at fagevalueringer som vurderingsform skal videreføres, styrkes og utvikles til et grunnlag for å fordele forskningsmidler.

Regjeringen Bondevik presenterte 18. mars 2005 Forskningsmeldingen: Vilje til Forskning. I meldingen pekes nanoteknologi og nye materialer ut som ett av tre prioriterte teknologiområder sammen med IKT og bioteknologi. Forskningsmeldingen ble vedtatt av Stortinget 17. juni 2005. Det er svært viktig for videre satsing innenfor feltet at material- og nanoteknologi endelig har fått en prioritert stilling.

Status norsk forskning innenfor material- og nanoteknologi

Norge har bygget opp fremstående FoU-miljøer innenfor enkelte områder av stor næringsmessig betydning. Disse er først og fremst knyttet til produksjon av lettmetaller, ferrolegeringer, silisium, papir og polymerer, men også til utvikling av mer spesialiserte produkter og videreføring. I petroleums- og offshoreindustrien er det bygget opp internasjonalt anerkjente miljøer innenfor avansert materialbruk til offshoreanvendelser. Tilsvarende har satsinger innenfor ny energiteknologi vært avgjørende for oppbygging av spisskompetanse når det gjelder hydrogenlagring, membraner, brenselceller og katalyse.

Langsiktig partnerskap mellom norske lokomotivbedrifter og norske forskningsmiljøer har vært en suksessfaktor på flere av disse viktige feltene. Forskningsrådet har bidratt sterkt til denne utviklingen gjennom finansiering av brukerstyrte prosjekter der samspillet mellom bedrifter og forskningsmiljøer, internasjonal publisering og doktorgradsutdanning har vært viktige prioriteringskriterier.

Norge har i 2005 ca. 550 materialforskere med ca. 150 fast ansatte i UoH-sektoren og ca. 400 i forskningsinstituttene. I rapporten «Materialforskning i Norge», som er utarbeidet som en del av foresight-prosjektet, gis det en oversikt både over de sentrale materialforskningsmiljøene i Norge og deres prioriteringer, samt en mer detaljert beskrivelse av status og muligheter knyttet til de enkelte materialtypene der det foregår forskning i Norge.

Det norske lettmetallmiljøet ved NTNU og SINTEF Materialer og kjemi har utviklet seg gjennom et langsiktig partnerskap og er på flere

Nanoproduksjon

Tre norske miljøer produserer nanokarbonpartikler i dag: n-Tec AS og Carbon Cone AS på Kjeller og SINTEF Materialer og kjemi i Trondheim. Nanokarbonrør er 10 ganger sterkere enn stål og leder strøm godt. Egenskapene til nanokarbonkjeglene er ennå ikke kartlagt. Slike karbonnanopartikler ventes å bli viktige komponenter i fremtidens nye materialer.

felte på et internasjonalt høyt nivå. Nøkkelområdet NorLight som ble startet i 2001, har som mål å utvikle et internasjonalt ledende fagmiljø på områder av stor betydning for økt videre-



Nye nanoteknologisentre skal bringe Norge i teten på nisjeområder. Her fra MiNaLab i Oslo.

Foto: Erik Poppe, SINTEF IKT

foredling av lettmetaller. Forskningsrådets midtveisevaluering av satsingen høsten 2003 konkluderer med at satsingen så langt har vært vellykket.

Innenfor plast- og plastkomposittområdet hadde Norge på 90-tallet en relativt bred FoU-innsats langs hele produksjonskjeden fra monomerer til skreddersøm av plastprodukter. FoU-miljøene har høy kompetanse, men er fortsatt av underkritisk størrelse. De viktigste miljøene

er SINTEF Materialer og kjemi, NTNU, UiO, Høgskolen i Østfold og Østfoldforskning. Oppbygging av disse kunnskapsmiljøene er en viktig forutsetning for å kunne utløse det betydelige verdiskapingspotensialet som

plastindustrien i Norge representerer.

Innen bygningsmaterialer har FoU-aktivitetene vært lite koordinert mellom universitets- og instituttsektoren, og forskning på bygningsma-

materialer har i begrenset omfang vært koblet opp mot annen og mer generisk materialforskning. For at dette området skal kunne løftes i fremtiden, er det viktig å få til et bedre samspill mellom de ulike FoU-aktører innen området.

Satsingen mot funksjonelle materialer, nanomaterialer og nanoteknologi var frem til etablering av NANOMAT-programmet i 2002 fragmentert og av begrenset omfang. De energi-rettete programmene med finansiering av Olje- og energidepartementet (OED) var lenge hovedfinansieringskilden for denne forskningen. UiO, NTNU, SINTEF og IFE har gjennom FUNMAT-konsortiet fått ansvaret for tre store nasjonalt koordinerte prosjekter i NANOMAT innenfor materialer for ny energiteknologi og fremtidens IKT-systemer. Gjennom COMPLEX-samarbeidet ved IFE, UiO og NTNU støtter programmet grunnleggende studier av myke og komplekse materialer.

Mange forskningsinstitusjoner i Norge ønsker å satse sterkt på nanovitenskap og nanoteknologi og har klart definerte strategiplaner eller igangsatt planarbeid. De ledende er NTNU, UiO, UiB og SINTEF. Det er etablert flere nanoteknologisentre. SINTEF og UiO har sammen bygd laboratoriet for mikro- og nanoteknologi (MiNaLab) i Oslo, UiO har etablert Senter for materialvitenskap og nanoteknologi (SMN) mens NTNU bygger opp

NanoLab. Likevel står Norge bare i startgropen for en slik satsing. Utdannings- og forskningsdepartementet ga Forskningsrådet våren 2005 i oppdrag å utarbeide en nasjonal strategi for nanovitenskap og nanoteknologi. Startskuddet for denne prosessen gikk i et møte i Forskningsrådet i juni 2005.

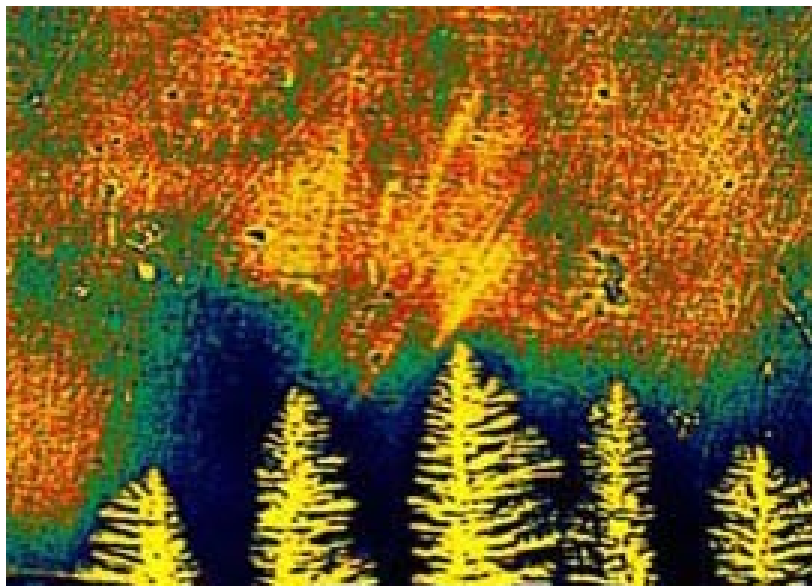
Innenfor EUs 6. rammeprogram (2002–2006) har to store tematiske områder åpnet for materialrelatert forskning. I NMP (Nanoteknologi, Materialer og Produksjon) har de norske miljøene lyktes dårlig, og Norge deltar i svært få prosjekter. Heller ikke det internasjonalt sterke lettmetallmiljøet har lyktes i konkurransen med å få prosjekter i 6. rammeprogram, i motsetning til i 5. rammeprogram. EUs 6. rammeprogram innenfor NMP stiller store krav om gjennombrudd forskningsmessig eller industrielt. De norske miljøene som har lyktes godt, arbeider innenfor keramer og membraner ved IFE og SINTEF. Den dårlige uttellingen kan skyldes at norske miljøer har kommet sent i gang innenfor de nye material- og nanoteknologi-områdene.

Innenfor det tematiske områder «Bærekraftig utvikling», med undertemaet Energi har Norge lyktes relativt godt. Særlig gjelder dette forskningsmiljøene innen brenselceller, CO₂-lagring, hydrogen som energibærer og silisium for solceller.

Materialforskning i norsk næringsliv

Materialproduserende industri i Norge har betydelig egen FoU-virksomhet i inn- og utland. To klare utviklingstrekk påvirker utviklingen av forskningsinnsatsen. De siste 10 årene er konsernstyrt strategisk forskning kraftig bygget ned. Ansvaret for FoU er i dag ofte lagt til forretningsområdene slik at koblingen mellom forretningsområdets egne strategier og utviklingsbehov blir klarere. Parallelt er bedriftene blitt internasjonalsert. Store deler av norsk materialproduserende industri er ikke lenger norskeid, men inngår i store internasjonale konsern med

Kunnskapen om hva som skjer på nano- og mikronivå er avgjørende for kvaliteten. Her størkner aluminium. Foto: SINTEF



hovedkvarter utenfor Norge. Bedriftene som fortsatt er norskeid, har ekspandert i utlandet og har ofte flere ansatte i utlandet enn i Norge.

Globalisert eierskap og produksjon har medført at også forskningen er blitt globalisert og FoU-investeringene har økt i utlandet. Det er ikke lenger noen selvfølge at norske bedrifter skal benytte norske forskningsmiljøer eller ha egne forskningsavdelinger i Norge.

Norsk materialforedlende industri gjennomfører også egen forskning i Norge. De mest oppegående klyngene er Raufoss-miljøet innen bildeler, lettmetaller og avanserte plastkompositter, Kongsberg-miljøet med offshoreaktiviteter og bildeler, og Horten-miljøet med mikroteknologi. Horten- og Raufoss-miljøene ble i 2004 utpekt av Kommunal- og regionaldeparte-

mentet som piloter for etablering av ordningen med nasjonale ekspertsentre. Totalt er det tildelt 3 slike pilotprosjekter. Ordningen Norwegian Center of Expertise (NCE) vil bli lyst ut av Innovasjon Norge første gang høsten 2005.

Den store betydningen materialteknologi har for norsk næringsliv og fremtidig verdiskaping kan illustreres gjennom andelen materialrelaterte prosjekter i skattefradragordningen SkatteFUNN som ble innført i 2001. En analyse av nye prosjekter i 2004 viser at ca. 20 prosent av alle godkjente prosjekter er materialrelaterte. Skattefradraget i 2004 for materialrelaterte prosjekter blir ca. 400 millioner kroner. Bare en liten del av disse prosjektene gjennomføres i samarbeid mellom forskningsmiljøer og bedrifter.

Næringslivsaktører

Eksempler på materialproduserende bedrifter med egen FoU-virksomhet i Norge, og bedrifter i ulike bransjer der kunnskap om materialer er viktig.

- *Prosess- og materialindustri:* Alcoa Automotive Castings SCC, Borealis, Borregaard Chemcell, Dynea, Elkem, Elkem Aluminium, FESIL, Hydro Aluminium, Hydro Polymer, Jotun, Norske Skogindustrier, Reichhold, Tinfos
- *Teknologiindustri:* Fjellstrand, Fundo Wheels, Hydro Aluminium Structure, KeraNor, Kongsberg Automotive, Nammo, Neuman Aluminium, n-Tec, Raufoss Technology, REC, Rolls Royce Marine, Scanwafer, Steertec Raufoss, Volvo Aero
- *Plast og kompositter:* Biobe, FiReCo, Hamax, Hexagon Composite, HiForm, Hønefoss Verktoyfabrikk, Laerdal Medical, Plastal, Plasto, Polimoon
- *Emballasje:* Elopak, Norfolier, Peterson emballasje, Tommen Gram, Tomra
- *Bygg- og anlegg:* Block Watne, Elkem Materials, Fjellhammar, Hunton Fiber, Glava, Isola, Hydro Aluminium Building Systems, Moelven Industrier, Norbetong, Norcem, Nordan, Norsk Leca, Rockwool, Skanska, Snøhetta, Wood Polymer Technologies
- *Offshore:* Aker Kværner, CorrOcean, Det Norske Veritas, FMC Kongsberg Subsea, Hydro, Nexan AS Halden, Oceaneering Rotator, Statoil, Vetco
- *IKT og biomedisin:* AME, Dynal, FMC BioPolymers, Ingis Photonyx, Norchip, Norspace, Opticom, SensoNor, Simrad, Tandberg Data
- *Tekstil og sport:* Devold AMT, Helly Hansen, Madshus, Norrøna, Swix Sport, Tele Textile

Internasjonale

trender og prioriteringer

Materialforskning er høyt prioritert i alle industrielle land pga. den betydningen materialer har for nær sagt alle deler av næringsliv og samfunn. I EU blir materialteknologi vurdert til å ha en stor, positiv innflytelse på livskvalitet og bærekraftig utvikling. Samtidig er den en hovedkilde for innovasjon og industriell utvikling.

Innholdet i materialforskningen har utviklet seg over tid. Fagdisiplinen materialvitenskap og materialteknologi begynte med kjemi og fysikk for 100 år siden. Den har siden utviklet seg til metallurgi og metalliske materialer. De siste årene har forskningen vært rettet mot funksjonelle materialer, polymerer, materialer som tåler ekstreme påkjenninger og nanomaterialer.

Nanoteknologi og foresight

Da President Bill Clinton lanserte sitt National Nanotechnology Initiativ (NNI) i 2000, ble nanoteknologi satt høyt på dagsordenen i alle industrialiserte land. NNI er nå 5 år, og en evalueringsrapport ble lagt frem for den amerikanske President's Council of Advisors on Science and Technology i mai 2005. Den konkluderer med at midlene har vært vel anvendt og at det er nødvendig med fortsatt solide bevilgninger av hensyn til nasjonens økonomi og sikkerhet.

USA, EU og Japan investerer mest i forskning og utvikling på nanoteknologi, men land som Kina, Sør-Korea og Taiwan er på vei oppover. USA sto i 2004 for en tredel av verdens investeringer i nanoteknologi, og nesten alle de store amerikanske selskapene har egne FoU-programmer for nanoteknologi.

EU-kommisjonen har utarbeidet en egen strategi for dette området. Nanoteknologi inngår som en sentral del av EUs 6. rammeprogram og forventes å få enda større plass i 7. rammeprogram. Blant tiltakene er europeiske teknologi-plattformer for nanoelektronikk og nanomedisin. I EUs handlingsplan for nanovitenskap og nanoteknologi i perioden 2005–2009 forventes markedene for nanoteknologiske produkter å vokse med flere hundre milliarder euro. EU-kommisjonen regner med at nanovitenskap og nanoteknologi vil forbedre innbyggernes livskvalitet og gagne EUs konkurransevne.

I en rekke land er det de siste årene gjen-

nomført foresight-analyser eller tilsvarende prosesser for å danne seg et bilde av hvordan material- og nanoteknologi vil utvikle seg, og hvilken betydning teknologien vil få. Prosessene brukes om utgangspunkt for forsknings- og næringsmessige anbefalinger. Resultatene fra Sverige, Storbritannia og Danmark er mest relevante for Norge

EU offentliggjorde den omfattende utredningen «European White Book on Fundamental Research in Materials Science» i 2000. Siden har EU-kommisjonen også gjennomført en foresight-analyse og satt i gang strategiarbeidet ManuFuture som er rettet mot den europeiske prosess- og vareproduserende industrien. Studiene trekker frem betydningen av kunnskap langs hele verdikjeden, fra fremstilling av materialer via design, konstruksjon, produksjonsteknologi og automatisering frem til de endelige produktene. Målet er at Europa skal styrke industriens konkurransevne.

Nanoteknologi og nanomaterialer inngår som et viktig felt i disse analysene, men det foreligger også en rekke egne studier knyttet spesifikt til nanoteknologi, bl.a. fra Danmark, Storbritannia og EU. Material- og nanoteknologi inngår også som viktige teknologiområder innen bredere fremtidsanalyser, eksempelvis innen produksjonsteknologi og kjøretøyteknologi/mobilitet. Videre er disse teknologiene utredet i en global utviklingssammenheng og hvordan

Nano i 20 års perspektiv

Bedre materialer

Nye molekylstrukturer som karbonrør skaper materialer som er sterkere og lettere. Det gir muligheter for alt fra bildeler til vindmøllevinger. Nanopartikler på overflaten av tekstiler får skitten til å prelle av. Vannet kan prelle av trematerialer. Dataskjermene og TV-er gjøres supertynne og lette. Solceller, brenselceller og batterier blir mer effektive og billigere.

Smarte materialer

Sensorer bygges inn i tekstiler. I helse- og sportsanvendelser kan de fortelle om puls og temperatur. I soldatuniformen kan de varsle om farlige gasser eller radioaktivitet. Joggesko kan justere dempingen etter underlaget. Klær kan få innebygd display. Veggene kan skifte farge. Etter hvert kan veggene fungere som store flatskjermene. Materialene i kjøkkenbenken og i kjøleskapet gjøres antibakterielle.

Små maskiner

Et fundamentalt sprang kommer når vi klarer å bygge maskiner i nanostørrelse der delene bare er noen molekyler store. For at disse maskinene skal produsere noe til nytte i menneskeskala, trengs milliarder av dem. Da trengs en god «kopimaskin» til å masseprodusere maskinene. Brukeren putter på de riktige råstoffene, og ut kommer for eksempel en ferdig datamaskin.

Nanomedisin

«Lab on a chip» er allerede stort i helsesektoren. Med kunnskap om menneskenes gener og kunnskap om nanoteknologi og IKT, vil det komme en flom av enkle diagnosesett for bruk på legekontorer og for folk flest. Om 20 år kan vi legge en blodprøve på en slik brikke og få kartlagt hele vårt personlige genom nærmest på øyeblikket. I dag tar det minst ett år.

de, og da spesielt nanoteknologi, kan utnyttes til beste for verdens fattige.

I utgangspunktet er disse analysene og de strategiske anbefalinger de fører til, rettet mot hvert lands spesifikke samfunns- og næringsmessige behov. De skal klarlegge hva det vil være riktig for det enkelte land å satse spesielt på. Mye er likevel felles for konklusjonene fra analysene, og de samme satsingsområdene går gjerne igjen i de ulike dokumentene. Ikke minst

gjelder dette nanoteknologi, hvor alle studier anbefaler at landene satser på en bred front.

De ledende landene innenfor forskning på materialteknologi som USA, Japan, Tyskland, Frankrike og Storbritannia, satser nå også stort på nanoteknologisk forskning. Det gjør også land som Kina og India. Alle de nordiske land ligger langt fremme innen ulike deler av materialforskningen og er i ferd med å bygge opp sterke miljøer innen deler av nanoteknologien.

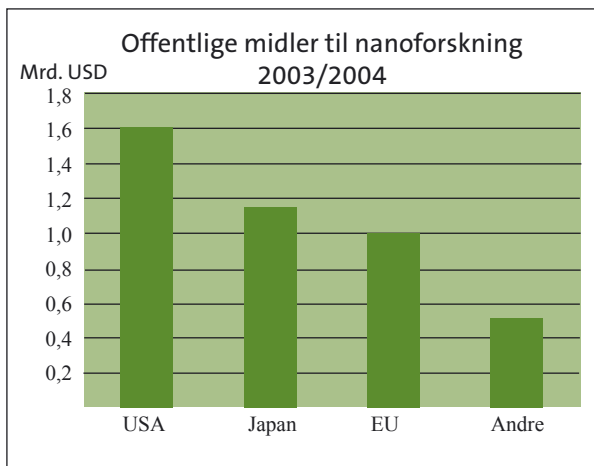
Prioriteringer

Det er mange fellestrekk mellom de forskningsmessige anbefalinger og de ulike nasjonale fremtidsanalyser. Her gjengis hovedanbefalingene fra fire analyser av nyere dato.

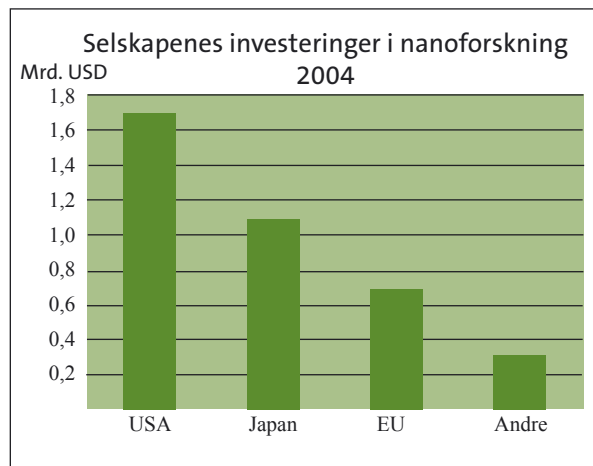
I sin analyse «Material och materialfløden – utmaningar og möjligheter» anbefalte den svenske Teknisk Framsyn-komiteen i 2003 å satse på utvalgte nøkkelområder. De er delvis basert på forventede viktige næringsmessige muligheter for Sverige og delvis på ulike samfunnsbehov og miljøkrav: Utvikling av materialer for energiproduksjon, kjemiske syntesemetoder og avansert materialanalyse, teknikker for produkt- og markedsutvikling, fornybare råvarer for

polymermaterialer, bærekraftig materialbruk (resirkulering), overflate- og tynnslakteknologi, nanoteknologi og biomimetik (lage materialer som etterligner biologiske materialer).

I Storbritannia gjennomførte The Institute of Materials, Minerals and Mining en panelbasert analyse som ble avsluttet i 2002. Også denne analysen var rettet mot både samfunnsmessige behov og fremtidige næringsmessige muligheter for eksisterende og ny industri i Storbritannia. Konkrete materialgrupper ble pekt ut til å ha spesielt viktige forskningsbehov i årene som kommer: Funksjonelle materialer, smarte materialer, materialer for energiteknologi (brensel-



USA ligger godt foran EU og Japan i bevilgninger til nanoteknologisk forskning. Kilde: Lux Research/EU-kommisjonen



Amerikanske og japanske selskaper bruker mye mer på nanoteknologisk forskning enn selskaper i resten av verden. Kilde: Lux Research

celler o.l.) og biomaterialer. Innen hver av materialgruppene ble det gitt mer avgrensede og konkrete anbefalinger. F.eks. silisium for IKT, magnetiske materialer og elektroniske polymermaterialer for funksjonelle materialer.

I handlingsplanen «Teknologisk fremsyn om dansk nanovidenskap og nanoteknologi» er det anbefalt syv prioriterte teknologiområder: nanomedisin og kontrollert medisintilførsel, biokompatible materialer, nanosensorer og nanofluider, plastelektronikk, nanooptikk og -fotonikk, katalyse og hydrogenteknologi og nanomaterialer med nye funksjonelle egenskaper. I begrunnelsen inngår de forventede næringsmessige mulighetene for Danmark.

EU-kommisjonen begrunner den store satsingen på NMP (Nanotechnology and nanosciences, Multifunctional materials and Production processes) i både 6. og 7. rammeprogram med at den vil styrke kunnskapsutviklingen for å motvirke den avtagende aktiviteten både i tradisjonell og mer moderne industri. Formålet med 6. rammeprogram var å medvirke til store teknologisprang i stedet for inkrementelle steg. EU ønsker at industrien omformes mot mer kunnskapsbasert produksjon, både ved vertikal integrering og via samarbeid på tvers av sektorene. Kommisjonen ønsker spesielt å stimulere til at nye teknologier tas i bruk i sektorer med mange små og mellomstore bedrifter. I tillegg håper Kommisjonen at store nyvinninger øker dialogen med samfunnet og skaper entusiasme for vitenskap. 7. rammeprogram (7RP) skal styrke dette arbeidet ytterligere.

I forarbeidet til 7RP forventer EU-kommi-

sjonen at materialene skal innta en lederposisjon for å sikre fremtidig produksjon i Europa. De oppmuntrer industrien til å danne teknologiplattformer hvor de samordner seg og fremmer forslag til forskningsområder av stor betydning for bransjens fremtid. EU-kommisjonen trekker spesielt frem muligheten til å skape nye materialer med forutbestemte egenskaper basert på kunnskap om materialene på nanonivå. Andre viktige områder er utvikling av kunnskapsbaserte materialer med skreddersydde egenskaper, nye nano-, bio- og hybridmaterialer, materialer for nanoelektronikk, optiske og integrerte mikro- og makrosystemer, nye materialer for brenselceller og hydrogenlagring, samt integrering av materialer på tvers av sektorer som helse, bygg og anlegg, transport og energi.

Anbefalingene representerer et vidt spekter av materialer og anvendelser. Mange av dem vil ha stor betydning for norsk næringsliv og det norske samfunnet. For at Norge skal kunne ta del i og utnytte de næringsmessige mulighetene, kreves egen nasjonal forskning. Og siden Norge satser på å være integrert i europeisk forskning, må det bygges opp sterke miljøer i Norge som kan konkurrere på områdene der vi ønsker å være langt fremme.

Norges forskningsråd deltar i forskningsnettverket ERA-NET MATERA som skal styrke samarbeidet mellom europeiske forskningsfinansierende organisasjoner innenfor materialvitenskap og materialteknologi. Prosjektet er støttet av EU-kommisjonen. 15 organisasjoner fra 14 land deltar. Finland gjennom TEKES er initiativtaker og prosjektansvarlig.

Samfunn og næring

– betydning, status og muligheter

Materialindustriens betydning for verdiskapingen i Norge

Historiske epoker som steinalder, bronsealder og jernalder har fått navn etter de materialene menneskene hadde til rådighet, noe som understreker materialenes sentrale rolle som en drivkraft for den historiske utvikling. Fra vår egen tid er utviklingen av bilen, transistoren, PC-en og laseren resultater av materialtekniske fremskritt. Også i fremtiden vil materialteknologi være en sentral drivkraft i den teknologiske utviklingen. Den gryende satsingen innenfor nanoteknologi er trolig bare starten på en utvikling som i stor grad vil prege vår hverdag i fremtiden.

Avansert og riktig bruk av ulike materialer er dermed den første forutsetning for en stor del av vår industrielle virksomhet. Det er nok å nevne eksempler som ny ferdigvareproduksjon, sikker og miljømessig forsvarlig utbygging av olje- og gassfelt i Nordsjøen, en effektiv bygg- og anleggssektor, trygge og effektive havbruksanlegg, utvikling og sikker bruk av medisinsk-teknisk utstyr og utvikling og produksjon av elektronikkutstyr. Førstehåndskunnskap om videre bearbeiding av og de ulike bruksområder for materialene er også en forutsetning for å kunne opprettholde en konkurransedyktig norsk råvareproduksjon.

Aktiv deltakelse i utviklingen av billigere,

bedre og/eller nye materialer anses å være en nødvendig forutsetning for å vinne frem i et konkurranseutsatt, internasjonalt marked. Vi har dermed behov for en langsiktig forsknings- og næringsmessig satsing i Norge, ikke bare på de felt som kjennetegner dagens næringsliv, men også på områder av en potensiell, men mer usikker, fremtidig næringsmessig betydning. Norsk næringsliv må skape muligheter til å høste økt verdiskaping innenfor nye teknologier basert på nye materialer, både i det etablerte næringsliv og gjennom etablering av nye bedrifter.

På verdensbasis blir miljø- og ressursforvaltning samt utnyttelse av nye, fornybare energikilder og -bærere ansett å være blant de viktigste forutsetningene for økt verdiskaping og for sikring av tilfredsstillende levevilkår i fremtiden. Internasjonalt står eksempelvis utvikling av vektbesparende materialkonsepter og av nye energimaterialer sentralt. Dette utgjør et stort markedspotensial for flere av de områder som den material- og vareproduserende industrien i Norge representerer. Spesielt kan lettmetaller, plast- og plastkompositter samt fremstilling av silisium fremheves. Disse materialene er sentrale i utviklingen av lette og minst mulig miljøbelastende produkter, så vel som i

utnyttelsen av alternative energikilder (sol og vind). Potensialet for økt verdiskaping i Norge ligger også i et bredt spekter av små og mellomstore produksjons- og leverandørbedrifter knyttet til disse og en rekke andre områder.

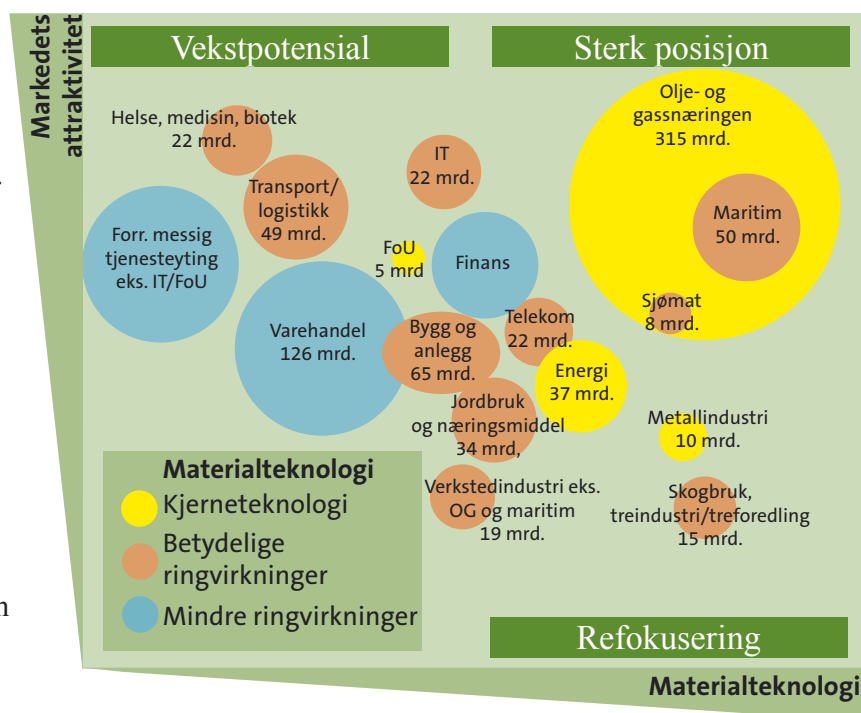
Norge har videre en viktig strategisk rolle som

Materialproduserende industri og teknologibedriftene i Norge utgjør i dag en av grunnpilarene for den næringsmessige verdiskapingen. Den samlede produksjonsverdien i 2003 var ca. 190 mrd. kr., som tilsvarer om lag 40 % av den samlede landbaserte industriproduksjonen. Eksportverdien var ca. 90 mrd. kr. og utgjør 60 % av norsk landbasert eksport. Antall sysselsatte var ca. 155 000, som utgjør 50 % av den totale industrielle sysselsetting. Samme år ble det importert materialer og varer innenfor de samme varegrupper for 185 milliarder kroner.

produsent av lettmetaller (primær- og sekundærmetall) samt ferrolegeringer og silisium. Med utgangspunkt i jordens begrensede råvareresurser kombinert med sterkt økende etterspørsel etter materialer, vil Norges rolle som materialprodusent kunne bli av stadig økende betydning for norsk økonomi. Samme gjelder utvikling av avansert gjenvinningsteknologi basert på material- eller energigjenvinning.

Innenfor vekstsektorer som energiteknologi, IKT, medisin, helse og bioteknologi, står funksjonelle materialer sentralt, og nanoteknologi vil her få stadig økt betydning. For å utnytte det fremtidige næringspotensialet som ligger i dette, må Norge satse sterkt innenfor enkelte utvalgte områder med utgangspunkt i naturgitte fortrinn eller spesiell kompetanse. Totalt sett vil utviklingen innenfor de to teknologiområdene

Materialteknologi er et utløsende teknologiområde som svært mange andre områder bygger videre på, og er derved en forutsetning for å opprettholde Norge som en moderne industrinasjon og velferdsstat.



Norges forskningsråd har analysert hvordan norske bransjer plasserer seg på verdensmarkedet og hvilket potensial de har for vekst. Jo større sirkelen er, jo større er bidraget til bruttonasjonalproduktet (2003-tall). Lenger til høyre betyr sterkere markedsposisjon, mens høyere opp betyr større vekstpotensial. Fargene viser betydningen av materialteknologi, fra å være en kjerneteknologi i oljenæringen til å ha mindre ringvirkninger innen forretningsmessig tjenesteyting.

Kilde: SSB, NFR Analyse og estimat

material- og nanoteknologi være avgjørende for en særdeles viktig del av næringslivet og den fremtidige industrielle verdiskapingen i Norge. Dette gjelder bl.a. prosessindustrien, bygningssindustrien, teknologi/vareproduserende industri som leverer utstyr og produkter til maritim og marin sektor inkl. havbruksnæringen, møbel- og belsningsindustrien, offshore- og engineering-selskaper, samt IKT- og sensorbedrifter.

Material- og vareproduksjon

Status

En betydelig andel av norsk materialindustri er i dag basert på videreforedling av landets rike natur- og energiresurser. Denne industrien står for hovedtyngden av sysselsettingen i distriktene og bidrar til en vesentlig andel av verdiskapingen og eksporten fra fastlands-Norge. Den består for en stor del av globale aktører med til dels meget sterk internasjonal konkurranse. Sektoren er teknologisk meget avansert,

har høy innovasjonsgrad og rekrutterer hvert år et stort antall personer med doktorgrad. Det er en klar tendens til økt forskningsinnsats og utvikling av kunnskapsbaserte spesialprodukter både i Norge og internasjonalt.

Materialindustrien har tidligere vært dominert av bulkproduksjon, men tradisjonelle råvarer som metaller, papir og plast er ikke lenger rene bulkvarer. De er skreddersydde produkter med spesielle egenskaper tilpasset kundenes

I Norge er det totalt 327 materialproduserende bedrifter, med en omsetning på 81 mrd. kr., ca. 27 000 ansatte og en bearbeidingsverdi på 23 mrd. kr. i 2001.

Norsk teknologiindustri består av ca. 6000 bedrifter med en omsetning på 152 mrd. kr., ca. 110 000 sysselsatte og en bearbeidingsverdi på 50 mrd. kr. i 2001.

behov. Det er en sterk økning i utviklingen av spesialprodukter med et langt høyere kunnskapsinnhold enn i bransjens tradisjonelle produkter.

Vareproduksjon og materialforedling utgjør en vesentlig del av det som gjerne omtales som «teknologiindustrien» og er, sammen med material- og prosessindustrien, ryggraden i den norske fastlandsindustrien. Samlet står i dag disse delene av norsk næringsliv for anslagsvis halvparten av den industrielle verdiskapingen i Norge. Den er i et særlig tett inngrep med norske klynger innenfor marine ressurser, maritim virksomhet og offshore, samt den europeiske bilindustrien. Næringen har et godt utgangspunkt for å bli en hovedbidragsyter til den næringsmessige verdiskapingen i Norge også i fremtiden.

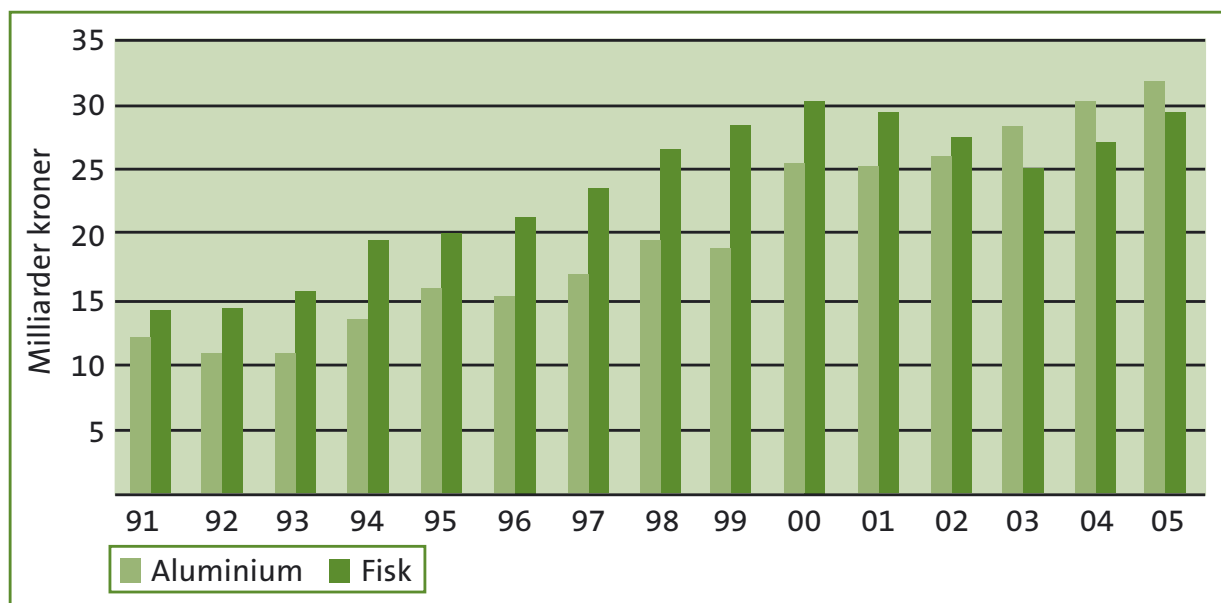
Norsk teknologiindustri omfatter bedrifter som produserer et stort spekter av produkter, eksempelvis transportmidler, metallvarer, plastprodukter, møbler, tre- og biomaterialvarer, glass- og keramiske produkter, kontor- og data-maskiner, elektronikk, medisinske instrumenter, maskiner og utstyr. Noen av disse bedriftene kan kalles materialintensive nedstrømsbedrifter, mens andre gjenvinner materialer. Materialer

inngår for de fleste bedriftene bare som én av mange innsatsfaktorer frem mot det endelige produktet. Materialene som brukes, er hovedsakelig tradisjonelle konstruksjonsmaterialer, hvorav noen er norskproduserte, men i stor utstrekning dreier det seg om importerte råmaterialer eller halvfabrikata. Det ligger et stort potensial for vekst og nyskaping blant dette mangfoldet av bedrifter som har overlevd vanskelige kår for produksjonsbedrifter i Norge.

Muligheter og utfordringer

Tradisjonell vareproduksjon vil i fremtiden i stor grad overføres til lavkostland, mens produksjon av skreddersydde produkter med høyt kunnskaps- og tjenesteinnhold kan øke i Norge, dersom forholdene legges til rette for det. Den europeiske teknologiplattformen ManuFuture presiserer at et høyt kunnskapsnivå langs hele verdikjeden fra materialforskning via konstruksjon til produksjon er en forutsetning for en fremtidig konkurransedyktig vareproduksjon i Europa. Norge har med sitt høye kostnadsnivå en enda større utfordring knyttet til dette enn mange andre europeiske land.

En konkurransedyktig norsk vareproduk-



Eksporverdier av aluminium inklusive bildeler vs. fisk. Kilde: Kilde SINTEF/PIL/ Sindre Finnes

sjon forutsetter dessuten produktivitetsøkning og omlegging til enda mer industrielle og automatiserte produksjonsprosesser. Utfordringer vil være omlegging til mer modulbasert produksjon, nye formingsmetoder, strengere toleransekrav, nye metoder for sammenføring og overflatebehandling og konstruksjon av produkter på en slik måte at de egner seg for automatisert produksjon. Høyt kunnskapsnivå om materialene og deres egenskaper vil være en forutsetning for å lykkes.

Internasjonalt står vi dessuten overfor et materialskifte i retning av lette, miljøvennlige materialer. Norge har som en stor produsent av slike materialer, et godt utgangspunkt for å ta del i en slik ekspansiv industriell vekst. Målrettet kompetanseoppbygging og økt satsing på FoU vil være en forutsetning for at Norge skal kunne utnytte disse internasjonale trendene til økt verdiskaping.



Materialforedlere og vareprodusenter i Norge. Antall i hvert fylke. Totalt finnes ca 6000. Kilde: SSB. Ill: Atle Abelsen

teter gjennom bl.a. Forskningsrådets tidligere brukerstyrte programmer Expomat og Prosmat. I disse var hovedvekten lagt på produksjonen av materialer, halvfabrikata, kunnskap langs verdikjeden frem til anvendelse samt nye, innovative anvendelser av norskproduserte materialer. Nøkkelområdet NorLight har lagt økende vekt på videreforedling og bruk av lettmetaller. Ved siden av våre vannkraftressurser utgjør dette nå en kunnskapsressurs som er viktig for Norges videre industriutvikling.

Prosessindustrien, offshorevirksomheten og deres underleverandører har bygd opp kunnskap om nye konstruksjonsstål, stål, titan og avanserte kompositter. Lokomotivene bidrar også med dyp kunnskap tilknyttet sikkerhet, levetid, sensorer, aktuatorer og overvåking.

Det kreative mangfold

Materialforedlerne og vareprodusentene er spredt over det ganske land og det mangfold av bedrifter, prosesser og produkter som disse representerer, kan kalles «det kreative mangfold». Gjennom et tett samspill mellom kunnskapslokomotivene, forsknings- og undervisningsmiljøene og det innovative mangfold kan norsk material- og vareproduserende industri styrke sin konkurranseevne. Et viktig trekk i dette bildet er at det utvikles FoU- og industrivekstsentra rundt våre sentrale kunnskapslokomotiver. Det må få materialkompetanse, konstruksjons- og designkompetanse og produksjonskompetanse til å spille i verdikjeden. Det er her Norge med et tett nettverk uten for stor fragmentering i kunnskapsutvikling kan skape unike industriutviklingsmiljøer.

Kunnskapslokomotiver

Norsk materialproduserende industri produserer i økende grad avanserte spesialprodukter hvor konkurransefaktoren ligger i de funksjonene som er bygd inn i produktene. Denne industrien kan på mange måter å betrakte som Norges «kunnskapslokomotiver» innenfor avansert materialteknologi. Denne kunnskap som omfatter materialfysikk, kjemi, metallurgi, formingsmekanikk, konstruksjonsmekanikk, overflatefysikk og korrosjon, forvaltes ikke bare av bedriftene selv, men i like stor grad av de norske forskningsmiljøene.

Materialprodusentene har, som kunnskapslokomotiver, vært nært koblet opp mot våre forskningsmiljøer ved institutter og universi-

Kretsløpssamfunnet

Norge har også store muligheter til å ligge i fremste rekke når det gjelder å møte de miljømessige utfordringene og den nødvendige globale utviklingen mot kretsløpssamfunnet. Gjennom oppbygging av kunnskap langs hele verdikjeden fra råstoff til gjenvunnet råstoff kan Norge bli Europas materialforvalter tilknyttet norskproduserte materialer som aluminium, magnesium, silisium, ferrolegeringer, tre, betong, plast og kompositter. Det ligger også store potensialer i utvikling av materialproduksjon basert på fornybare materialer med basis

i skogbruk, dyrkede materialer og naturfibre, kombinert med vår grunnleggende generiske materialkunnskap.

Utfordringen for materialindustrien i Norge er å skape en profil innenfor et livsløps- og gjenbruksperspektiv basert på analyse, design og optimalisering av materialer, prosesser og produkter. Dette må utvikles i samarbeid med forskningsgrupper som har en helhetlig forståelse og kompetanse om fysisk og matematisk modellering og simulering. Og der fenomener og respons på alle størrelsesnivå, fra nano- til makronivå integreres.

Transport, mobilitet og kommunikasjon

Status

Transportsektoren har alltid vært en svært viktig drivkraft for utvikling, utprøving og bruk av nye materialer og nye tekniske løsninger. I løpet av de siste tiårene har sentrale krav vært knyttet til mer effektiv produksjon, lavere pris, redusert vekt og bedre drivstofføkonomi. I tillegg kommer krav til sterkere og sikrere konstruksjoner, resirkulering og gjenbruk av materialer samt ulike avanserte sikkerhetsanordninger og kommunikasjonsutstyr.

Sektoren omfatter person- og godstransport på vei og bane, og med skip, ferger, nytte- og lystfartøy, fly og helikopter. Disse representerer en meget stor bredde i valg av materialer og teknologiske løsninger. Et stort spekter av materialer inngår, men ulike stålkvaliteter, aluminium, plast og plastkompositter utgjør hovedtyngden i volum.

For Norge som et langstrakt land med spredt bebyggelse og stor avstand fra de internasjonale markedene, er transport og mobilitet spesielt

viktig og ressurskrevende. Som nasjon har vi større behov for å effektivisere transport enn de fleste andre land i Europa. Dette åpner for innovasjon og nyskaping innenfor en sektor som kjennetegnes av stor variasjon og svært forskjellige utfordringer.

De nasjonale og internasjonale kravene om

I Norge bidrar transportsektoren til 5,2 % av BNP og 6,4 % av sysselsettingen. Ca. 660 bedrifter produserer transportmidler. I disse er det ca. 21 000 sysselsatte, omsetningen er på 33 mrd. kr., og bearbeidingsverdien 8,7 milliarder. Pr. 31.12.2003 var det 3,7 millioner transportmidler i Norge.

bedre drivstofføkonomi, miljøvennlighet og resirkulering har åpnet mange nye muligheter for bruk av lette materialer som aluminium, magnesium, plast og plastkompositter. Med utgangspunkt i Norges sterke stilling som produsent og viderefører av disse materialene, er Norge i løpet av de senere år blitt en betydelig bildelsprodusent med leveranser til flere av de største personbil- og lastebilprodusentene. Eksporten utgjør nå ca. 6 milliarder kroner pr. år.

Muligheter og utfordringer

En av hovedutfordringene til denne sektoren er knyttet til forurensning, særlig til luft. Miljøbelastningen i form

Den maritime klyngen er Norges mest komplette næringsklynge. Den er lokalisert i Norge fordi vi har et av verdens sterkeste og mest kompetente maritime næringsmiljøer. Norge har 0,1 % av verdens befolkning, 1 % av verdens BNP, og disponerer 10 % av verdens handelsflåte. Maritim sektor står for 50 % av norsk tjenesteksport.

av utslipp til luft fra transport har økt med 34 prosent siden 1990. Ifølge Kyoto-avtalen skal Norge holde 1990-nivået i 2010. Dette innebærer betydelige utfordringer, i første rekke knyttet til persontransport i årene fremover. CO₂-utslipp fra transportmidler utgjør ca. 36 prosent av landets samlede utslipp.

De miljømessige utfordringene transportsektoren står overfor i de neste dekaner, kan ikke løses ved teknologiutvikling alene. Flere studier har vist at manglende fremgang i retning av bærekraftig utvikling, ikke skyldes manglende teknologisk utvikling og nye ideer. Prosessen fra en vitenskapelig oppdagelse, utviklingen av en produkt- eller prosessidé frem til kommersiell utnyttelse gjennom en teknologisk innovasjon som fremmer en bærekraftig utvikling, møter mange hindringer. Blant disse er motstand mot endringer for å sikre tidligere investeringer, ekstra utgifter, ønske om å drive «business as usual», kortsiktig lønnsomhetsopptimering eller aksjeverdiopptimering.

For å motvirke slike barrierer er det nødvendig for bedriftene å tenke langs langsiktige utviklingslinjer. Enkelte av de store bilprodusentene har gitt en åpen og detaljert informasjon om sin utviklingsstrategi. Utvikling knyttet til nye materialer og ikke minst nye drivstoffsystemer inngår som en meget viktig del av disse strategiene. Blant annet satses det spesielt på utvikling av brenselcelleteknologi og hybridteknologi, der konvensjonell forbrenningsmotor kombineres med generator og batteridrift, noe som med stor sannsynlighet vil utvikles parallelt med brenselcellesystemer i de neste 50–100 år. Videre satses det på hydrogendrift, hvor en fullstendig redesign av kjøretøyet er nødvendig. Ytterligere bruk av aluminium for vektbesparelse i stedet for stål er også et av satsingsområdene. Dette innebærer utfordringer knyttet til utvikling av legeringer, nye design og nye produksjonsmetoder for karosseri-, motor- og chassiskomponenter, brenselcellesystemer, batteriteknologi og elektriske drivsystemer foruten utvikling av multimaterialløsninger med full resirkulerbarhet basert på helautomatisk demontering og sortering.

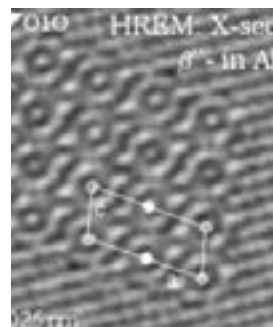
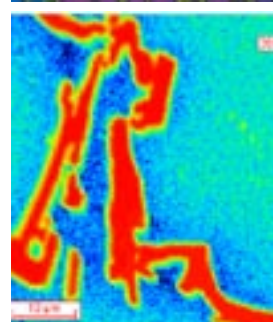
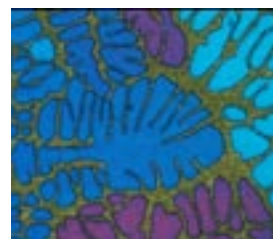
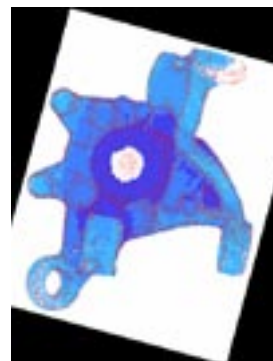
Bilindustrien er en av verdens mest krev-



Verdikjeden går fra materialenes nanostruktur (nederste bilde) via kunnskap om mikrosprekker til simulering av deler, produksjon og montering i en bil (øverst).

Foto: SINTEF/Alcoa Automotive Castings SCC

ende bransjer som norsk industri allerede er i godt inngrep med som underleverandør. Det er nylig tatt et eget initiativ, «Innovasjon Bil 2010», som skal være med på å styrke denne industrien som inkluderer et vidt spekter av bedrifter. Materialteknologi vil være en sentral utløsende faktor i utviklingen. Norge har alle muligheter til å komme i en god posisjon for industriutvikling basert på lette materialer og på nye materialer og systemdesigner knyttet til brenselcelleteknologi, batteriteknologi og elektriske drivsystemer. Det samme gjelder for sensorer, elektronikk, programvare og kommunikasjonssystemer.



Materialkunnskap er en viktig forutsetning ved videre oppbygging av landets infrastruktur for skinnegående transport, der krav til person-sikkerhet og driftspålitelighet er særlig store. Ikke minst stiller store klimatiske variasjoner og harde værpåkjenninger i Norge ofte ekstra store krav til valg av materialer og tekniske løsninger.

Marin transport og utviklingen innenfor denne sektoren byr også på en rekke nye muligheter. Utgangspunktet er en kystlinje som strekker seg mer enn 20 000 kilometer, noen av de rikeste marine ressursene i verden og en teknologisk krevende kontinentalsokkel. Norge har her bygd opp verdensledende kompetansemiljøer og sterke internasjonale kommersielle nettverk. Ikke på noe annet område finner vi så mange norske bedrifter som innenfor sine nisjer er helt i verdenstoppen. Svært mange av dem baserer sin virksomhet på krevende produkter eller løsninger der kunnskap om materialer og materialteknologisk kompetanse spiller en avgjørende rolle.

Videreutvikling av denne kompetansen og økt nettverksbygging vil få stor betydning for

styrking av industrien knyttet til produksjon og bruk av transport- og kommunikasjonsmidler for sjøbasert person- og godstrafikk. Dette gjelder alt fra hurtiggående ferger til større passasjerskip. Videre er markedet for mindre yrkes- og fritidsbåter i stadig utvikling, og norske produsenter deltar aktivt med ny design, ny materialbruk og produksjonsmetoder.

For alle typer transport er kommunikasjon av sentral betydning. Det gjelder ikke bare kommunikasjon mellom transportmiddel og fører, men også alle de sensor- og styresystemer som moderne transportmidler har innebygd for overvåking, sikkerhet og komfort. Det gjelder også førerens kommunikasjon med omverdenen, som geografisk posisjon og veivalg, informasjon om transportforhold og sikkerhet, og kommunikasjon med leverandør og mottaker av transporttjenester. Også her vil nye materialer og nanoteknologi være utløsende for fremtidige innovasjoner.

Helse, velferd og livsstil

Helse

Den norske befolkning nyter godt av en gjennomsnittlig høy levestandard, og landets økonomiske tilstand er svært god. Likevel står Norge og mange andre vestlige land foran store utfordringer med å opprettholde velferdsordninger på 2005-nivået for en aldrende befolkning. I dette perspektivet er det svært spennende å se på hvilke nye muligheter som kommer i kjølvannet av FoU innenfor materialteknologi, særlig i kombinasjon med nanoteknologi, bioteknologi og IKT.

Med nanoteknologi, nanoelektronikk og

mikrosystemteknologi vil svært komplekse analyseutstyr bli tilgjengelige for den jevne befolkning, f.eks. «lab on a chip». Fra en liten bloddråpe kan kolesterolnivå og blodsukkernivå analyseres hjemme, og resultatene sendes via internett til nærmeste nanomedisinske senter. Her lager mikroreaktorer medisin tilpasset hvert enkelt individ. Medisineringen i kroppen vil være målrettet med optimalisert og jevn dosering. Helsevesenet vil oppleve store endringer med hensyn til diagnose og medisinering. Avansert sensorteknologi der sensorene blir mer følsomme og mindre i størrelse, åpner helt nye muligheter for overvåking av helsetilstanden til mange pasientgrupper.

Ny teknologi vil også påvirke utviklingen av utstyr og hjelpemidler for funksjonshemmede. Basert på sensor/nanoteknologi i kombinasjon med 3D virtuell simulering av livssituasjonen for bevegelseshemmede og syns- og hørselssvake, vil norske designere i samarbeid

Nanobiosensorer

Kombinasjonen av nanoteknologi, biologi, avanserte materialer og fotonikk åpner muligheten for å detektere og manipulere atomer og molekyler. Ett eksempel på medisinske anvendelser er nanobiosensorer som kan følge prosesser i levende celler. Dette vil føre til en dramatisk økning i vår forståelse av cellenes funksjoner og muliggjøre tidligere og bedre diagnostikk

med kunder, leger og produksjonsbedrifter skape nye produkter som øker livskvaliteten og gjøre hverdagen lettere for denne gruppen funksjonshemmede. Produktene har potensial på verdensmarkedet. Ikke minst er behovene i utviklingsland store, og her kan Norge bidra med betydelige kunnskapsressurser.

Biomaterialer benyttes allerede i dag i komponenter som erstatter kroppsdelene og funksjoner innenfor medisin, odontologi og veterinærmedisin. Forskningsområdet er i sterk vekst internasjonalt. Syntetiske polymerer er tatt i bruk i stort omfang innenfor dialyse og hjerte-lunge-maskiner og til oppbevaring av blodprodukter og infusjonsvæsker. Bruk av biopolymerer er på rask fremmarsj, for eksempel innenfor øyekirurgi og konstruksjon av kapsler for levende celler. Forskningsfronten beveger seg mot mer kompliserte vev- og organimplantater. Dette fordrer dypere kunnskap om grenseflaten mellom menneskeceller og materialer.

Nanoteknologi muliggjør modifisering av materialoverflater slik at de enten tiltrekker eller avviser bestemte molekyler eller celler. På den måten kan syntetiske materialer og levende vev settes sammen på nye og mer hensiktsmessige måter. Dette kan åpne for helt ny transplantasjonsteknologi, bedre implantater, bedre kirurgiske instrumenter og nye medisiner.

Velferd

Et intelligent tekstil måler og tilfører kroppen «velvære» gjennom integrering av sensorer, data, elektronikk, kommunikasjonsteknologi og energikilder i tekstilet. Slike intelligente og smarte tekstiler forventes å få betydning i helsesektoren gjennom en mer individtilpasset helseomsorg der eldre og uføre trygt kan bo hjemme lenger. Andre viktige områder er innenfor sports- og fritidsbekledning samt yrkesbekledning hvor personer utsettes for ekstreme påkjenninger (f.eks. brannvesen og militære).

Vestlig tekstilindustri er under sterkt press fra lavkostproduksjonen i land som Kina. Dette har tvunget industrien til å tenke nytt rundt innovasjon og konkurransevne, og har ført til at denne industrien har åpnet seg for å få impulser fra forskningsfronten innenfor mange fagområder. Selvrensende og vannavstøtende tekstiler (lotuseffekt) og antibakterielle tekstiler med nanopartikler av sølv er to eksempler på



Med «lab on a chip» kan blodprøven til et sykt barn analyseres hjemme. Foto: Atle Abelsen



Ole Einar Bjørndalen gikk på «nano-ski» og ble verdensmester. Foto: Knut Snare

produkter som allerede er på markedet.

I dag er produksjon av tekstiler til beklledning redusert, mens produksjon av tekniske tekstiler øker i omfang i den vestlige verden. Industrien ser nå på bruk av tekniske tekstiler også i beklenningsindustrien. Dette skaper behov for en forskningsbasert utvikling av nye produkter, produktutvikling, materialkunnskap og bruk av IKT. Potensialet for verdiskaping øker med økt grad av spesialisering. Norske fortrinn kan være innenfor beklledning for arbeid og fritid i vått og kaldt klima samt marine og alpine miljøer. For å oppnå dette er det nødvendig med samarbeid på tvers av fagdisiplinene fysiologi, produktdesign, sensorteknologi, tekstil og materialkunnskap.

Livsstil

Sports- og fritidssegmentet retter seg mot en kjøpesterk gruppe som forventer det beste av sine produkter. Toppidretten er en driver for utvikling av utstyr hvor ny teknologi raskt tas fra forskningsstadiet til prototyper. Materialteknologi er sentralt i denne utviklingen. Mange av de første kommersielle anvendelsene



Smarte materialer i drakten utløser varme når piloten havner i sjøen. Foto: SINTEF

av nanoteknologi kom her, bl.a. med karbonnanorør i golfkøller og sykkelrammer for å oppnå ekstrem styrke og lav vekt, superhydrofobe overflater på konkurransebåter, og nanostrukturerte såler i langrennsski.

I et globalt perspektiv vil tilgangen på rent vann bli en alvorlig utfordring. Prognoser viser at vannforbruket er forventet å øke med opp mot 70 prosent de neste 25 årene. For å dekke dette økende behovet trengs nye, mer effektive metoder for rensing av vann og for avsalting (demineralisering). Nanoteknologi og avanserte materialer vil ha stor innflytelse på denne utviklingen, f.eks. membraner med porer i nanoskala som kan filtrere bort selv de minste organismer og partikler.

Velferdssamfunnet et tjent med lange levetider og redusert behov for vedlikehold på bygninger, veier og andre offentlige installasjoner. Utvidet bruk av nye materialer og avansert bruk av tradisjonelle materialer vil føre til økte levetider og bedre løsninger. Utstrakt bruk av styring og overvåking vil i tillegg gi bedre kontroll av materialenes tilstand. Overflater behandlet med antifuktende belegg har for eksempel sterkt redusert behov for renhold (f.eks. vinduer, antigrffiti etc).

Energi

Status

Norge står i en særstilling internasjonalt gjennom stor tilgang til ren energi fra vannkraft. De store olje- og gassressursene utgjør ytterligere enorme energikilder. Imidlertid er bruk av fossile kilder til energiproduksjon i stor skala politisk lite akseptabelt i Norge. Dette bildet vil trolig nyanseres når ny teknologi, samfunnsøkonomiske perspektiver og aspekter ved global forurensing pga. norsk eksport av olje og gass, legges til grunn.

Det planlegges i disse dager oppstart av gasskraftverk uten CO₂-håndtering. De politiske signaler tilsier at CO₂-håndtering vil bli krevd i eventuelle nye konsesjoner.

Nye fornybare energikilder er vokst frem. I løpet av de siste årene har utbygging av vindkraft tatt av i Norge. Videre har Norge nylig utviklet et betydelig næringsliv basert på solcellematerialer og solceller (REC, Scanwaver). Forskningsmiljøer og næringsliv har satt

søkelyset på hydrogenteknologi og hydrogen som energibærer.

Materialer er uomtvistelig av meget stor betydning for eksisterende energiteknologi, og til dels helt avgjørende for storskala utvikling av ren, fornybar energi. Dette omfatter produksjon, transport, lagring og bruk av energi så vel som energisparing.

Muligheter og utfordringer

Verden står overfor enorme utfordringer for å skaffe tilstrekkelig energi til markeder og samfunn i rivende utvikling. Dette vil øke presset på forskning på fornybar energi, ren energi og rensemetodikk i forbindelse med bruk av fossile brennstoffer. Prisøkningen i 2005 på olje og gass vil, hvis de vedvarer eller forsterkes, kunne få stor betydning for prisdifferensen mellom «tradisjonell» energi og fornybar energi, og dermed bidra positivt til å fase inn nye energikilder tidligere. I tillegg til kostnadsaspektet

er innfasing av fornybar energi og miljøvennlige energibærere, som hydrogen, avhengig av at ulike materialmessige utfordringer finner sine løsninger.

Visjonen om hydrogensamfunnet er basert på hydrogen som energibærer, og at hydrogen kan produseres fra vann og forbrennes tilbake til vann i for eksempel en brenselcelle. Bruk av hydrogen er av særskilt interesse i byer og områder der tiltak kreves for å redusere forurensing fra fossile energikilder. Materialmessige utfordringer er knyttet til katalysatorer for fremstilling av hydrogen (fra eventuell «ren» naturgass, elektrolytisk fra vann, fotokatalytisk fra vann), til lagring av hydrogen (trykktanker, kryogene lagringssystemer, faste absorbenter, hydrogenlagringsmaterialer) og sluttbruk (brenselceller). En spesiell utfordring eksisterer på lagringssider dersom hydrogen skal bli et reelt alternativt drivstoff i transportsektoren.

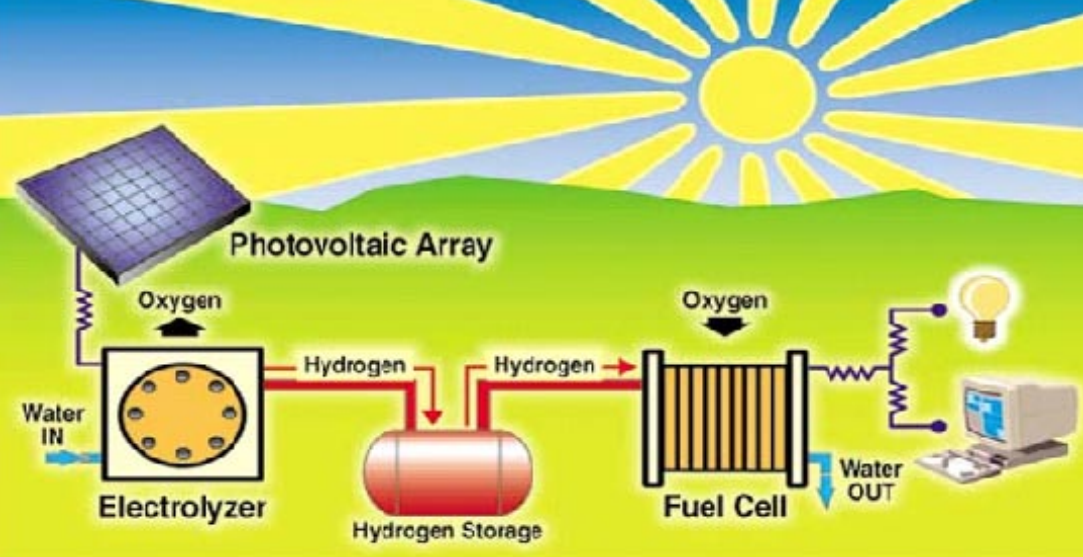
Solenergi anses å ha et stort globalt potensial, og en hovedutfordring er å lage billige fotovoltaiske materialer med høy energieffektivitet. I dag er silisium (Si) det sentrale solcellematerialet, men analyser viser at man ikke vil kunne fortsette veksten som markedet etterspør, uten å øke tilgangen på silisiumråmaterialer av solcellekvalitet. På mellomlang sikt, vil det derfor være viktig å finne frem nye fremstillingsmetoder for «solar grade Si» i Norge. Internasjonalt følges mange nye konsepter mot forbedrede fotovoltaiske materialer. Mer effektive materialer med aktive tynnfilmelaktroder av oksider vil øke effektiviteten av silisiumbaserte celler. På lengre sikt kan organiske eller oksidbaserte solceller bli konkurransedyktige.

*Solenergi vil bli en viktig energikilde.
III: NTNU*

I de siste tiårene har nye litium- og metallhydridbatterier tatt store markedsandeler, til dels som erstatning for miljøvennlige batterier som er basert på sink og kadmium. I visse anvendelser vil batterier i fremtiden kunne erstattes av miniatyriserte brenselceller, som for eksempel drives på metanol. Samtidig er det sannsynlig at nanoteknologi vil bidra til sterkt forbedrede batterier for bruk i transportsektoren, og at elektriske biler dermed kan bli et reelt alternativ, også overfor hydrogendrevne biler i et mulig fremtidssamfunn. Hydridbiler med kombinert elektrisk og bensindreven fremdrift er allerede på sterk fremmarsj.

Innenfor brenselcelleteknologi eksisterer både modne og ennå lite utviklede teknologier. Lavtemperaturbrenselceller (alkaliske, polymerbaserte, protonledende) finnes både som kommersielle enheter og som utviklingsprosjekter. Man kan se for seg en rekke nye anvendelser der for eksempel brenselceller (PEM) erstatter batteriteknologi eller motorer basert på fossilt drivstoff. De vil kreve løsninger på materialrelaterte problemstillinger. Tilsvarende foreligger betydelige materialmessige utfordringer knyttet til ioneledende høytemperaturkeramer for bruk i membraner for oksygeneparasjon, gasskraftverk med CO₂-håndtering eller høytemperaturbrenselceller.





Hydrogensamfunnet basert på fornybar energi. Ill: IFE

I elektriske generatorer benyttes myke magnetiske materialer med minimal magnetisk hysteresese for å unngå energitap. Slike tap kan reduseres ytterligere ved å forbedre de magnetiske materialene, bl.a. ved hjelp av nanoteknologi. Å erstatte tradisjonelle lyspærer med lysdioder er også et FoU-felt som bruker nanoteknologi.

kabler vil kunne fjerne energitap, men foreløpig anses dette ikke som aktuelle løsninger for langveis strømtransport. Av norsk interesse er på sikt trolig også bruk av superledere i elektriske motorer, særlig for maritim fremdrift i såkalte «all electric ships».

Når det gjelder vindkraft, vil utvikling og implementering av gigantvindmøller forutsette utvikling av nye, sterke og lette materialer for rotorblad og turbiner.

Forbedrede halvledende materialer til kraftoverføring og kraftelektronikk forventes å kunne gi meget stor energimessig innsparing, men foreløpig er utfordringene store. Superledende

Bygg, anlegg og eiendomsforvaltning

Status

Hvor vi enn oppholder oss, enten det er på jobb, når vi reiser, på kjøpesenteret, ved kulturarrangementer eller hjemme, er vi omgitt av et mangfold av materialer. Lys, luft, rom, form, overflate, farge og funksjonelle egenskaper er viktige livskvaliteter som bygg-, anleggs- og eiendomsforvaltningsbransjene påvirker.

Størstedelen av byggematerialene i norske bygg produseres i Norge. Tre og sementbaserte materialer utgjør hovedtyngden. De dekker ca. 75 prosent av hjemmeproduert og halvparten av totalt materialforbruk og bransjen sysselsetter 14 300 personer. Selv om det har foregått en kraftig strukturendring i næringen, har de fleste bedrifter 20 eller færre ansatte. Videreforedlingen skjer av prosjekterende og utførende bedrifter med ca. 200 000 sysselsatte. Denne verdikjeden, fra råvareuttak til endelig forbruk, er landets største distriktsnæring og er tilknyttet gode FoU-miljøer. Klima, topografi og offentlige og private brukerbehov gjør lokale materialer, markedsnærhet og lokal brukerkompetanse til konkurransefortrinn.

Innenfor trenæringen er det flere store aktører som dekker de fleste produktløsninger,

mange relativt store produsenter av spesialprodukter som vinduer og dører og noen innen modulbygging med tre som hovedmateriale. Sementbaserte materialer, hovedsakelig betong, produseres av flere store nasjonale bedrifter, de fleste av disse har utenlandske eiere. Blant produktene er fabrikkbetong, betongelementer, lettbetongblokker samt tilslag og stein til anlegg.

Muligheter og utfordringer

Bygg og anlegg representerer $\frac{3}{4}$ av landets realkapital. Estetisk levetid og funksjonskvalitet er viktige samfunnsøkonomiske faktorer, noe myndighetene ønsker å styre ved standarder og forskrifter. Krav til energi- og ressursforbruk, innemiljø, bærekraft, bevaring av bygget miljø og lave vedlikeholdskostnader representerer klare utfordringer til bransjen. Sammen med urbaniseringstendenser og rekrutteringsproblemer skaper de et behov for fornyelse av næringen for å beholde konkurransekraft mot internasjonale aktører. Nye materialer, materialegenskaper og byggemetoder avgjør mulighetene for fornyelse. Nasjonal innovasjon og FoU er et viktig grunnlag for å lykkes.

Byggevareomsetningen i Norge:

	mrd. kr.	Kommentar
Sum forbruk i Norge	36,0	Pluss syv mrd. kr. eksport, vesentlig råvarer, tre, stein, pukk, mineral
Import av byggevarer	14,0	Stål, fliser, belegg, tapet, glass, utstyr, mm.
Forbruk egne materialer	22,0	
Hvorav trebasert	9,5	Skur/høvellast, limtre, plater, vinduer, dører, ferdighus, innredning
Hvorav sementbasert	7,0	Fabrikkbetong, elementer, rør, kummer, heller, murprodukter
Hvorav andre	5,5	Tak/fasade, isolasjon, membran, papp, asfalt, stein, sanitærutstyr

Ca.-tall fra Byggevareprodusentenes Forening og næringsorganisasjoner

Det er viktig at tre- og betongmaterialenes estetiske levetid og funksjonelle kvalitet videreutvikles. Nanoteknologi har potensial til å bringe teknologien markant fremover, bl.a. i forbindelse med overflatebehandling og ulike funksjonelle overflater og smarte komponenter. Kompletterende «nye» materialer som fiber/

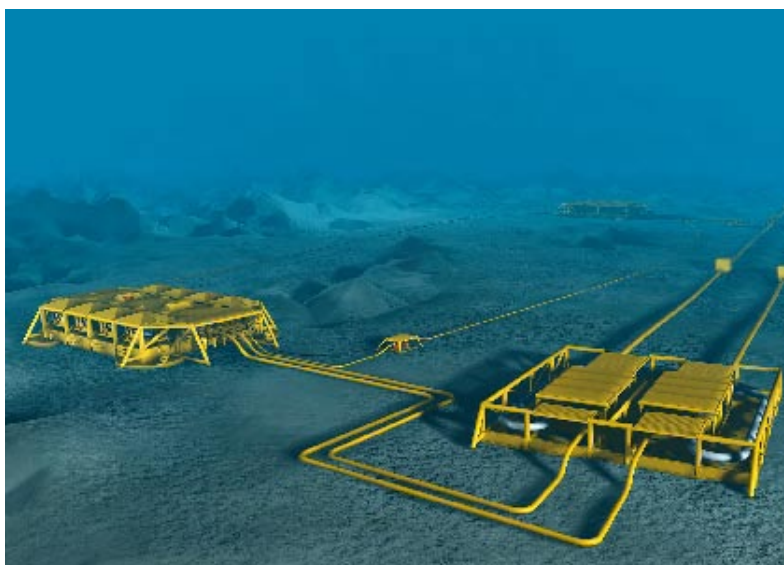
polymerkompositter, isolasjonsløsninger med lav U-verdi, styrbare og bestandige overflatebelegg, bør også vies oppmerksomhet. Kunnskap om kompatibilitet mellom ulike materialer kan gi nye optimale kombinasjoner, ev. i hybride løsninger med tre og betong.

Olje og gass

Status

Utvikling av optimale og til dels banebrytende materialtekniske løsninger og robuste materialer har vært helt avgjørende for olje- og gasseventyret i Nordsjøen. Dette gjelder hele prosessen fra leting via utvinning til transport og raffinering. Metoder, utstyr og nye skipstyper for oljeleting ble utviklet i Norge. Det samme gjorde nye automatiserte boreprosesser og -utstyr og løsninger for reservoarstyring.

Modeller og storskalautprøving av flerfasestrømning la grunnlaget for å transportere olje, gass og vann i samme rørledning over lange avstander. Store materialtekniske utfordringer knyttet til oljeutvinning på store dyp og dermed høye trykk og temperaturer i reservoarene, ble løst gjennom målrettet FoU i tett samarbeid mellom forskningsmiljøene og operatørene. Videre ble nye plattformløsninger tilpasset store dyp og værharde forhold utviklet. Utviklingen har gradvis gått mer og mer mot undervannsproduksjonssystemer, der produktene transporteres til en moderplattform eller via rørledninger til



Produksjon av olje og gass vil stort sett skje med undervannsinstallasjoner som her på Ormen Lange. Ill: Hydro

land. Norske underleverandører av modul- og kontrollsystemer for undervannsproduksjon er nå verdensledende.

Denne teknologiske utviklingen har vært en avgjørende forutsetning for den høye utvinningsgraden som oppnås i norsk sektor, og som har økt fra 20 til 50 prosent i løpet av et par tiår.

Muligheter og utfordringer

Videreutviklingen av norsk sektor går nå mot stadig mer krevende felt og tøffere driftsbetin-

gelsler med økte krav til sikkerhet, størst mulig vedlikeholdsfrihet og garantier mot miljøfarlige utslipp (nullutslippsvisjonen). Kravene om økt utvinningsgrad fortsetter for å utnytte olje- og gassressursene så langt som mulig. Dette stiller enda høyere krav til valg av materialer og konstruksjonsutførelser og fordrer ulike smarte og avanserte løsninger for overvåking, kontroll og pålitelig driftsregulering og styring.

Produksjonen i norsk sektor vil bli flyttet stadig lenger mot nord, og ny produksjon vil utelukkende bli basert på undervannsproduksjonsanlegg. Separasjon og videre prosessering vil i stadig større grad bli utført i undervannsanlegg og/eller i landbaserte anlegg der produktene tilføres via lange rørledninger langs havbunnen.

Gass vil også bli overført til flytende LNG-anlegg og transportert over lange avstander i LNG-tankere.

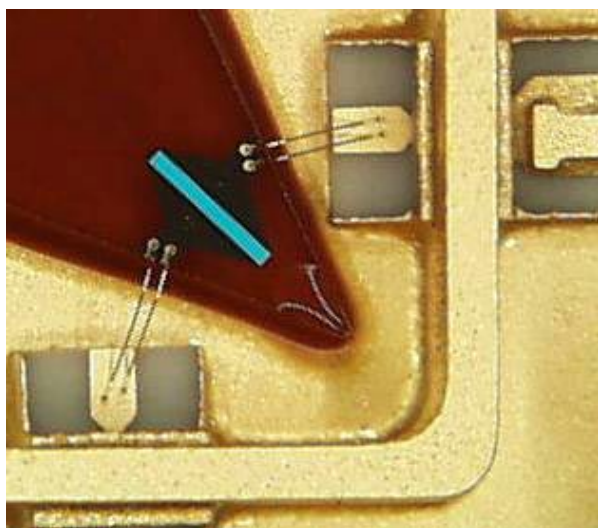
Denne utviklingen stiller store krav til materialene som brukes, og der samspillet mellom materialer og miljø ikke alltid er godt nok kartlagt.

Det er i hovedsak oljeselskapene som definerer behovene for forskning og utvikling som ligger i disse utfordringene, og som legger premisset for forskningen som gjennomføres. De norske materialteknologiske FoU-miljøene har høy kompetanse, lang erfaring, gode laboratoriefasiliteter og gode kunderelasjoner innen offshorerelatert FoU.

Informasjons- og kommunikasjonsteknologi – IKT

Status

Funksjonelle materialer spiller allerede en dominerende rolle innen IKT, gjennom silisiumteknologi som er grunnlaget for moderne elektronikk, og fotoniske materialer som er grunnlaget for fiberoptisk teknologi. Innen utvikling og produksjon av integrerte kretser og mikroelektromekaniske systemer (MEMS) i nanoområdet er funksjonelle materialer helt nødvendige.



Muligheter og utfordringer

Nye funksjonelle materialer vil få en revolusjonerende betydning for mikro- og nanosystemteknologi og fotoniske materialer når dagens mikroelektroniske kretser nærmer seg den nedre størrelsesgrense som naturen tillater. Vi vil få nye dataprosessortyper – enten de er kvantemekaniske, optiske eller klassiske bitsbaserte. Innen kommunikasjon vil lysets fotonegenskaper tas direkte i bruk. Dette vil føre til båndbredder som muliggjør effektiv kommunikasjon av helt nye størrelsesordener og til kvantekryptering for absolutt sikker kommunikasjon.

I de nærmeste årene vil nanoteknologi i første rekke påvirke utvikling av nye produksjonsmetoder for mikroelektronikk. I dag er produksjon av mikroelektronikk basert på optisk litografi kombinert med etsing, pådampning og groing av materialer.

Manipulering av materialene i nanoskala kan bidra til bedre kvalitet og besparelser. Med teknologisk utvikling vil prisene gå ned og gi muligheter for mer integrasjon og større kapasitet.

Andre muligheter tegner seg i alle slags tilleggsutstyr, f.eks. hurtigopladbare batterier basert på nye teknologier som inkluderer nanopar-

*T.v.: Filter for satellittkommunikasjon.
Foto: Norspace*

System-on-a-chip

Mikroelektromekaniske systemer (MEMS) er databrikker med «øyne» og «armer». I en MEMS integreres mekaniske deler, sensorer, aktuatorer og elektronikk på en felles silisiumplate. NEMS er det samme i nanometerskala. Ved å bruke teknologi fra databrikkeproduksjon kan MEMS/NEMS produseres til lav pris og dermed brukes i stort antall.

tikler. Eller mikrobrenselceller som lades ved påfylling av drivstoff. De gir mye større kapasitet enn batterier. Slik teknologi vil bidra til utviklingen av mobile enheter, integrasjon og utvikling av nye produkter.

På lengre sikt kan man forvente større og mer gjennomgripende forandringer i hele informasjonsteknologien. Dagens miniatyriserte transistorer kan i relativt nær fremtid bli erstattet av helt andre elektroniske elementer. Kombinasjon av elektriske og optiske elementer kan bli aktuell med utnyttelse av nyoppdagede optiske egenskaper av forskjellige nanopartikler.

De største forhåpningene har mange til elektronikk på molekylært nivå, der makromolekyler får ønskede elektroniske funksjoner. Molekylene kan være av organisk karakter eller av karbonnanorør, gjerne kombinert med andre nanoklynger av egnede materialer. Elementene kan lages med teknikker som AFM (Atomic Force Microscopy). For å lage elektronikk på



Nanohull i en polymer gjør det mulig å lagre 1000 gigabyte på en brikke. Ill: IBM

molekylnivå i stor skala må det utvikles metoder for at elementene kan sette seg sammen på egen hånd. Litografiske metoder som dominerer dagens masseproduksjon av mikroskopiske enheter er ikke aktuelle, siden lysets bølgelengder er mye større enn det titall nanometer som er dimensjonene på de nye elementene.

Bioteknologi

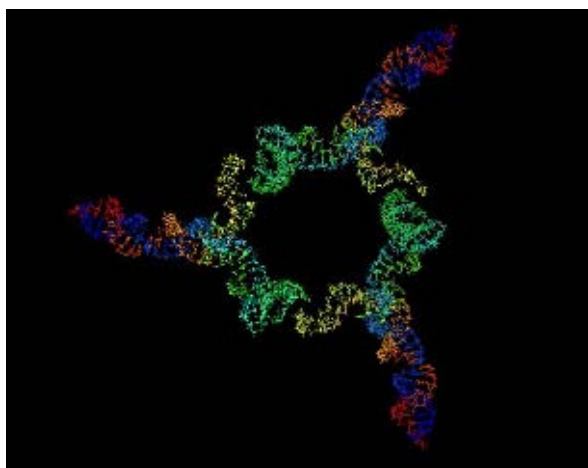
Status

En vesentlig del av den globale økonomien vil om noen tiår være knyttet til bioteknologi. Den rivende utviklingen innen genteknologien med blant annet nye, raskere metoder for analysering av arvestoffet (DNA) åpner helt nye muligheter for diagnostikk og sykdomsbehandling. Koblet sammen med nyvinninger innenfor IKT, material- og nanoteknologi, kan både medisinske og mer industri- og prosessrettede anvendelser oppstå.

Muligheter og utfordringer

Naturen er mangfoldig og samtidig spesialisert. Den besitter de mest avanserte funksjonelle strukturer på nanonivå. Forskere verden over kappes om utvikling av nye bionanomaterialer. Slike materialer kan ha attraktive egenskaper som høy stivhet og at de er mer oksygentette samtidig som de er bionedbrytbare. Andre anvendelser kan være innenfor sårheling, tabletter for kontrollert medisinerings eller hemming av bakterie- eller algevekst.

En av de største utfordringene innen bionano-



Ved å forstå hvordan molekylene virker, kan bionanoteknologien utvikle nye sensorer. Ill: IBM

Bioteknologi benytter levende organismer, deler av dem eller modeller av slike, for å produsere ny kunnskap, produkter eller tjenester.

Bionanoteknologi er den del av nanoteknologien som retter seg mot biologiske, biokjemiske og medisinske anvendelser. Eksempler er nanobiosensorer og biokompatible materialer.

teknologien er å fremskaffe mer kunnskap om prosessene inni og utenfor cellene, og om hvordan molekylstrukturer er bygd opp og endres over tid. Ved å forstå deres struktur og virkemåte, vil molekylære pumper, transportmekanismer og kunstige muskler kunne utvikles.

Slik kunnskap er også viktig for utvikling av skreddersydd medisinering, dvs. medisin som er basert på den genetiske profilen til hvert enkelt menneske. Mulighetene for å utvikle biokompatibilitet der materialene godtas av menneskekroppen, vurderes også som store.

Bionanoteknologisk forskning og utvikling av applikasjoner krever en tverrfaglig tilnærming, ofte med integrert samarbeid mellom fysikere, kjemikere, molekylærbiologer,

cellebiologer, systembiologer, informatikere og matematikere. For utvikling og testing av medisinske applikasjoner er det også nødvendig med tett samarbeid med spesialiserte medisinske forskningsmiljøer.

Det er i møtet mellom IKT, bio-, material-

og nanoteknologi at de største fremskrittene forventes. Dette omtales også som konvergerende teknologier. Slik konvergens av ulike vitenskaper kan åpne for uante muligheter. Bionanoteknologisk forskning og anvendelse vil derfor i økende grad

reise en rekke etiske, miljø- og samfunnsmessige aspekter. Forskning og dialog rundt disse aspektene vil derfor måtte være en integrert del av aktiviteten.

Nye, biokompatible materialer

Nanoteknologi gjør det mulig å endre materialoverflater slik at de enten tiltrekker eller avviser bestemte molekyler eller celler. På den måten kan syntetiske materialer og levende vev settes sammen på nye og mer hensiktsmessige måter. Dette kan åpne for helt ny transplantasjonsteknologi, bedre implantater, bedre kirurgiske instrumenter og nye medisiner.

Havbruk

Status

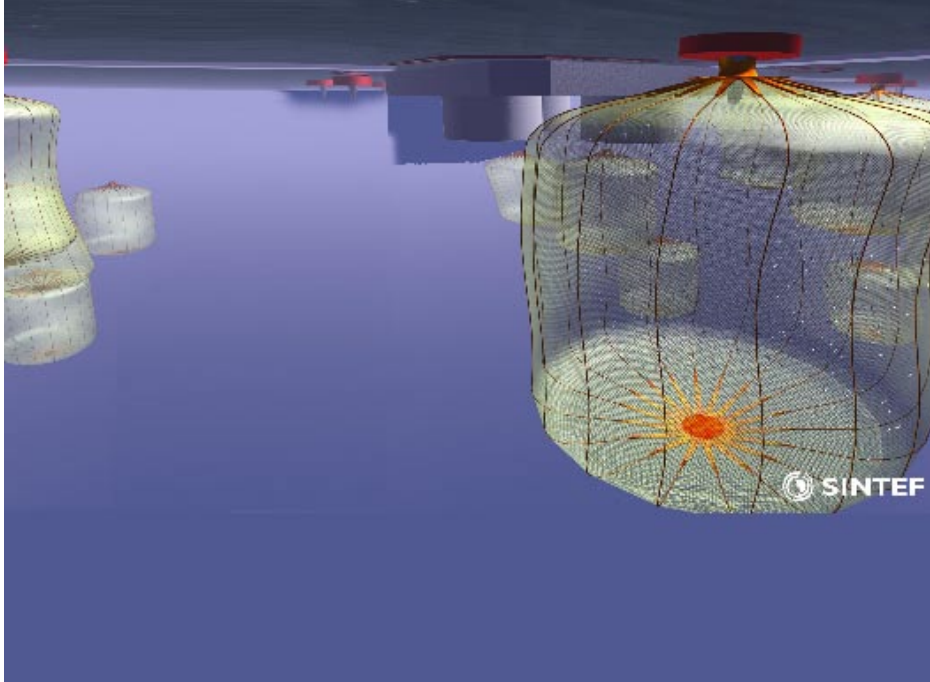
I løpet av de siste 30 årene har norsk havbruksnæring utviklet seg fra en attåttnæring til verdens ledende produsent av laks og ørret. Dagens oppdrettsanlegg er plassert langs kysten og er basert på materialer og tekniske løsninger hvor bestandighet mot sjøvann og styrke for å tåle harde værpåkjenninger og unngå rømming står sentralt. Forankringsanordningene må være sterke nok til å holde merdene på plass selv under ekstreme værforhold, og de må ha en konstruksjonsutforming som muliggjøre rasjonell transport og montering.

Materialer og ulike styringssystemer spiller en stor rolle i føringsystemene og i komponenter for overvåking og styring av ulike driftsparametere. Sensorer og automatisk doseringsutstyr benyttes. Riktig valg av materialer og gode materialtekniske løsninger er en forutsetning for at disse systemene skal fungere slik som tiltenkt og ha en tilfredsstillende lang levetid uten betydelige vedlikeholdskostnader, havarier og tap av produkter.

Muligheter og utfordringer

Havbruksnæringen er en forskningsbasert næring, og implementering av ny kunnskap, nye teknologier og materialer i utviklingen av anlegg, styringssystemer og overvåking er viktig for næringens videre utvikling. Den materialteknologiske utviklingen innen havbruksnæringen forventes å bli rettet mot mer avanserte og robuste anlegg til bruk i mer åpne farvann og i retning av mer avansert og fullautomatisk kontroll- og reguleringsutstyr når det gjelder føring, driftsforhold, posisjonering og navigering.

En forskningsbasert visjon av fremtidens oppdrettsanlegg kan være enheter som styrer seg selv og som navigeres til steder hvor næringsstoffene og værforholdene til enhver tid er gunstigst. En basestasjon som skal flyte på havoverflaten uten noen form for forankring fungerer som en informasjonssentral for frittflytende merder med oppdrettsfisk. Med utgangspunkt i dette vil oppdrettsvirksomhet kunne foregå langt til havs og derved redusere presset på kystområdene. Det kan også bidra til å re-



Fremtidens merder styres dit det er best for fisken Ill: SINTEF

dusere smittepresset og til å forbedre kvaliteten på fisken.

Merdene, hvor fisken lever, kan være autonome og styres til plasser som er gunstigst mulig for fisken med hensyn til værforhold. Hvis det er høye bølger, vil merdene kunne senke seg lenger ned i dypet, og hvis et fartøy nærmer seg, kan merden senke seg under havoverflaten for å unngå kollisjon. Denne visjonen krever nye løsninger for materialvalg, konstruksjonsutforming, reguleringsutstyr og sorteknologi. Materialer basert på nanostrukturer som er lettere og sterkere enn dagens materialer, kan bli meget viktige både for utviklingen i denne visjonen og for den videre utviklingen av mer konvensjonelle anleggstyper.

Anlegg i sjø utsettes for begroing og utgjør et betydelig problem for dagens havbruksnæring. Til tross for innsats over flere år er det ikke funnet en tilfredsstillende løsning på problemet. Nye materialer som kan fjerne begroingsproblemene fra anleggene, vil kunne få stor etterspørsel i havbruksnæringen. De kan utvikles i samarbeid mellom bioteknologi og nanoteknologi, Likeså vil det være behov for nye materialkombinasjoner som kan gi lettere emballasje som samtidig øker produktets holdbarhet og reduserer miljøproblemene ved transport og distribusjon, og sensorer som kan forbedre sporbarhet på produktene fra forbruker tilbake til produksjonsanlegg.

Miljø, resirkulering og gjenbruk

Status

Fremstilling og bearbeiding av råstoffer til materialer og produkter har hatt en rask og omfattende utvikling siden den industrielle revolusjon. Dette har gjort oss mye godt ved å gi bedre liv til mange, og skapt nye inntekter og dannet basisen for samfunn og næringsliv. På den annen side har den også ført med seg mange problemer og negative sider. Mange tror at selv om vi bare gjør noen små endringer, så kan vi fortsette ubekymret inn i fremtiden. Mens det vi egentlig behøver, mener enkelte, er en ny industriell revolusjon. Mange av intensjonene med den industrielle revolusjon var og er gode – å bringe mer gods og service til flere mennesker, øke levestandarden og gi folk flere

muligheter og valg. Dessverre var ikke biodiversitet, mangfold, skoger og elvers vitalitet, jord, hav og dyr en del av agendaen.

Konflikten mellom industri og miljø må ses på som et designproblem. Vi er i dag på mange områder i gang med å bøte på forurensing og utslipp. «Eco efficiency» der vi skal skape mer med mindre ressurser og samtidig redusere utslippene, er et viktig konsept. Reduksjon, gjenbruk og resirkulering bremser forurensing og utslipp, men stopper dem ikke så lenge materialer og produkter ikke er designet for gjenbruk og gjenvinning.

Muligheter og utfordringer

Verdens økosystemer er i ferd med å bli så



I kretsløpssamfunnet er produktene basert på resirkulerte materialer. Foto: Håg

overbelastet at livsvilkårene for millioner av mennesker kan bli alvorlig truet de neste 50 årene. Vi står overfor mangel på rent vann og gode sanitærforhold, sykdommer, opphoping av miljøgifter i naturen, reduserte fiskebestander, redusert biologisk mangfold og et ustabil klima. Vi tøyser grensene for hva kloden tåler, og rekker ikke å reagere i tide. Det er ikke lenger snakk om å tilrettelegge for en bærekraftig utvikling, til det er de fleste grensene for bærekraft allerede overskredet, men å holde

igjen for å redusere noe av den negative effekten.

En bærekraftig utvikling betyr en bedre fordeling av ressursene slik at det skal være nok til alle på kloden. Alle skal ha muligheten til å oppnå en levestandard som i det minste innebærer tilfredsstillende tilgang på mat, rent vann, bolig og god helse. For at dette skal være realistisk må vi i vår utviklede del av verden redusere forbruket med minimum en faktor på 10. Det betyr en enorm innsats i effektivt forbruk og håndtering av ressursene – skape mer med mindre. Dette krever definitivt nye teknologier, prosesser og systemer.

Med en global vekstrate i forbruk av ikke-fornybare materialkilder på 3–5 prosent pr. år, vil ressursene av metaller og polymerer være oppbrukt i løpet av de neste 100 år. Selv et materiale med råstoffreserver for 10 000 år basert på dagens forbruk, vil bli oppbrukt på ca. 200 år med en vekstrate på 5 prosent pr. år. Den eneste løsningen for en bærekraftig utvikling er «kretsløpssamfunnet», der ethvert produkt som produseres, er basert på resirkulert materiale eller et fornybart materiale (biomateriale). Dette vil kreve en materialutvikling med annet fokus enn i dag, spesielt med tanke på plast fra fossilt råstoff. Økt satsing på material- og nanoteknologi er i seg selv ikke en redning, men det er en absolutt nødvendig basis for å utvikle «livredende» utstyr. Mange av miljøspørsmålene lar seg kun løse ved hjelp av ny teknologi og nye løsninger, der materialer og smart anvendelse av materialer er en nødvendighet.

Næringsmidler og emballasje

Status

Materialer har alltid spilt en stor rolle ved fremstilling så vel som foredling og oppbevaring av næringsmidler. Det stilles strenge krav til materialer som brukes i prosessutstyr, lagringsutstyr og emballasje i forhold til hygiene og holdbarhet. I tillegg kommer krav til bestandighet overfor det aktuelle miljø og næringsmiddel, mulighet for overføring av stoffer som påvirker smak, farge eller som er helseskadelige, samt muligheter for resirkulering og gjenbruk.

Fortsatt dominerer de tradisjonelle embal-

lasjematerialene i hermetikk- og frossenmatdistribusjonen. Men de siste tiårene har overgangen til distribusjon av fersk mat gjennom store selvbetjeningsbutikker påvirket valg av emballaseløsninger og -materialer sterkt. Produktene distribueres i ferdige forbrukerforpakninger, oftest som engangsløsninger. Plastmaterialer dominerer innen nyutvikling av emballasje. Vi har gått fra «metall og glassalderen» via «fiber-alderen» inn i «plastalderen».

Forskningsrådets program «Norsk mat fra sjø og land» har ansvar for nærings- og

Intelligent emballasje kan fortelle om matvaren er fersk eller ikke.

Foto: Atle Abelsen

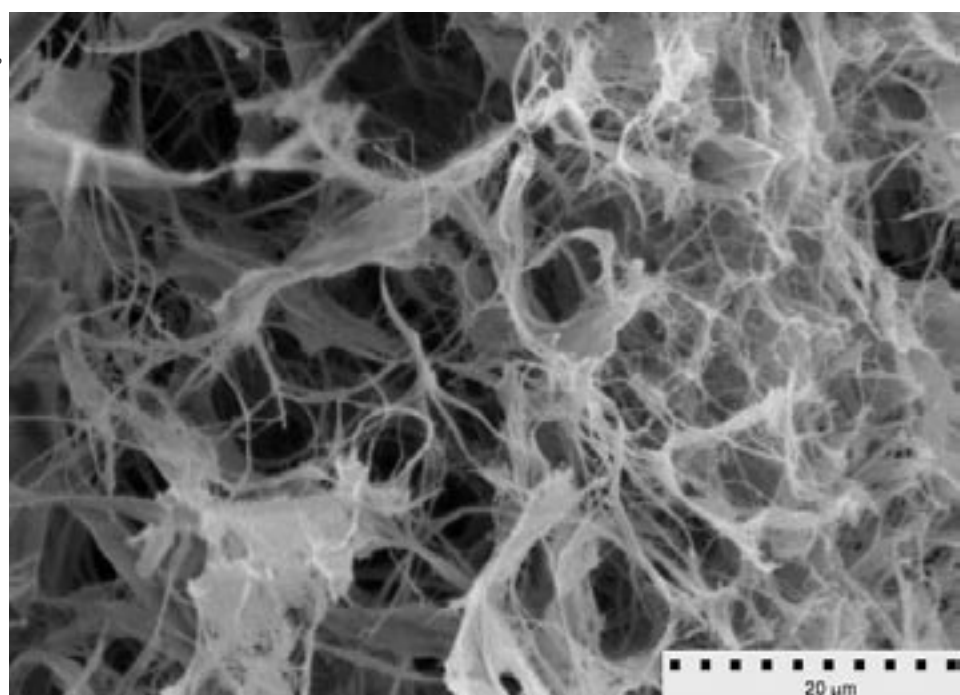
forvaltningsrettet forskning i hele verdikjeden fra forbruker til primærproduksjon for landbruksbasert matproduksjon og sjømat. Programmet skal bidra til at forbrukerne har et godt utvalg av helsemessig sunn og trygg mat med god kvalitet, produsert med riktig etisk standard i alle ledd.

Muligheter og utfordringer

Mer effektiv distribusjon, ferske produkter med kortere holdbarhet, økt gjennomsiktighet og eksponering i butikk stiller nye krav til emballasjen. De må få bedre styrkeegenskaper, UV-beskyttelse og barriereegenskaper. Samtidig har kravene til miljø- og ressurseffektive løsninger kommet mer i fokus, blant annet gjennom EUs emballasjedirektiv.

Den mest spennende utviklingen innen denne sektoren er knyttet til nanoteknologien. Ved bruk av nanomaterialer kan holdbarheten på matvarene forlenges ved å forbedre barriereegenskapene i emballasjen. Nanopartikler kan på en kontrollert måte frigjøre antimikrober, antioksidanter eller aromaforbindinger for derigjennom å øke holdbarheten eller endre egenskapen til emballasjen som følge av ytre påvirkning. Intelligent emballasje kan fortelle forbrukeren hvor ferskt produktet er ved å benytte nanosensorer eller nanopartikler som endrer farge dersom det har skjedd oksidasjon av produktet. Denne utviklingen vil få stor betydning for fiskeri og havbruk, der det stilles stadig strengere krav til at det leveres fersk fisk til krevende markeder over hele verden. Nanopartikler kan også bli markører i emballasje for å sikre mer effektiv sortering for materialgjenvinning.

Dannelse av biofilmer, uønsket vekst av bakterier, mikroorganismer eller belegg i prosessutstyr eller ved pakking, påfører næringsmiddelindustrien årlig store utgifter til renhold og reduserer produktivitet. Nanostrukturerte



Cellulosefibriller i nanostørrelse gir tett, men nedbrytbar emballasje. Foto: PFI

overflater kan designes slik at de hindrer dannelse av slike filmer eller belegg. Teknologisk gjennombrudd på dette området kan få stor betydning for næringsmiddelindustriens konkurransevne.

Aktiv og intelligent matvareemballasje er under utvikling, men det finnes foreløpig få kommersielle løsninger hvor nanoteknologi er benyttet. I løpet av noen år forventes slik emballasje å komme på markedet. Et viktig spørsmål er om de eventuelle helse- og miljømessige konsekvensene av bruk av slike materialer er godt nok utredet.

Nye teknologier – Helse, miljø, etikk og samfunn

Teknologisk innovasjon er en vesentlig forutsetning for vår økonomiske utvikling, men den raske utviklingen og spredningen av nye teknologier utfordrer også samfunnets evne til å håndtere samspillet mellom teknologi og samfunn på helt nye måter. Denne utfordringen har i særlig grad blitt uttalt i forhold til generiske teknologier som IKT, bioteknologi og nanoteknologi og til samspillet mellom dem. Ser vi 15–20 år fremover, er en bredere sosial aksept av nye teknologier nødvendig for å motivere utviklingen. Risikoforskning, etterhandsvurdering, og generell opplysningsvirksomhet anses ikke lenger som tilstrekkelige for å sikre en slik bred aksept. Hvis mulighetene som ligger i den teknologiske utviklingen skal kunne utnyttes, kreves en åpnere dialog der «samfunnet» kommer inn i utviklingen av teknologien mens den er underveis. Og den vil alltid være underveis. Det er et spørsmål om å anerkjenne behovet for en kontinuerlig involverende dialog mellom samfunn og teknologi.

Nanoteknologi er en slik teknologi som nå får mye oppmerksomhet og som på mange måter eksponerer et bredere behov for en samfunnsmessig bevissthet rundt den teknologiske utviklingen. Nanoteknologi gir oss mennesker mulighet til å jobbe på atomnivå, og å skape nye materialer med ønskede egenskaper. I kjølvannet av en stadig økende satsing på nanoteknologier er det også knyttet usikkerhet til utviklingen, og til mulige negative helse- og miljøeffekter.

Det hevdes i dag med tyngde at nanoteknologien nå befinner seg på et utviklingstrinn som bioteknologien gjorde på 70- og 80-tallet. I de neste 15–20 årene vil det derfor være all grunn til å tenke igjennom hvordan samfun-

net skal møte behovet for en bred debatt om nanoteknologiens utvikling og anvendelse. Det er all grunn til å utnytte de mulighetene vi nå har til å gripe fatt i de samfunnsmessige behovene for å styrke den sosiale sensitiviteten i forsknings- og innovasjonsprosessen.

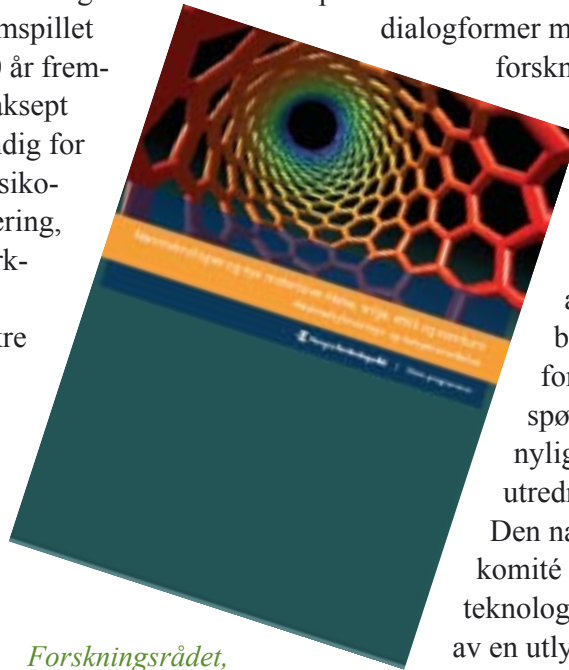
Slik sett kan nanoteknologien bli en spydspiss som kan være med på å utvikle helt nye dialogformer mellom de som driver

forskning og teknologiutvikling som drivkraft i samfunnet, og samfunnet selv.

Forskningsrådet tar denne utfordringen alvorlig. For å styrke bevisstheten rundt behovet for en bred dialog rundt slike spørsmål har Forskningsrådet nylig gjennomført et stort utredningsarbeid sammen med Den nasjonale forskningsetiske komité for naturvitenskap og teknologi og Teknologirådet, fulgt av en utlysning av forskningsmidler til å kartlegge mulige farer, samt etiske og samfunnsmessige aspekter.

Forskningsrådet ønsker en engasjert og opplyst samfunnsdebatt rundt nanoteknologi. Men den må være basert på fakta dersom vi vil unngå at en hel teknologi får dårlige

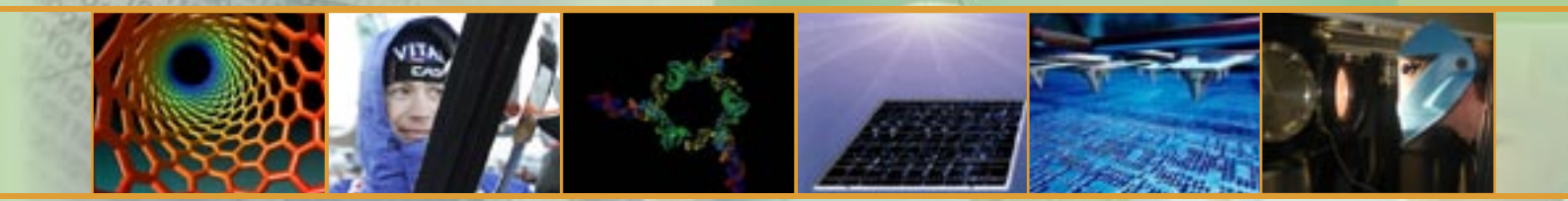
levevilkår fordi utvalgte sider av den har potensielt skadelige effekter. For å lykkes må forskere invitere politikere og allmennheten til dialog om etiske, samfunnsmessige og miljømessige aspekter ved nanoteknologien. Det er viktig at forskerne tar inn over seg et spekter av usikkerheter knyttet til nanoteknologier. Verdivalg bør gjøres underveis og tradisjonell risikoforskning bør erstattes med føre var-prinsippet. Forskning og kompetansebygging på etiske, rettslige og samfunnsmessige aspekter kan være viktig for en helhetlig forståelse og overvåking av de store spørsmålene om hvorvidt og hvordan nanoteknologier er et felles gode, og hvordan teknologien best bør implementeres for å gagne flest og best.



Forskningsrådet, De nasjonale forskningsetiske komiteer og Teknologirådet står bak rapporten «Nanoteknologi og nye materialer: Helse, miljø, etikk og samfunn».



Fremtidsbilder 2020



Fremtidsbilder

av material- og nanoteknologien i Norge

Foresight og scenarier

I arbeidet med å utvikle strategiske anbefalinger for den fremtidige satsingen på material- og nanoteknologi i Norge, har Forskningsrådet gjennomført en omfattende scenarioprosess. Den har vært et sentralt verktøy for å utvikle nye langsiktige perspektiver og skape bred dialog og medvirkning i strategiprosessen.

Scenarier er ikke prognoser eller spådommer om fremtiden. I stedet får scenariometodikken frem et mangfold av muligheter, og den oppmuntrer til ville ideer, kreativitet og mulige overraskelser.

Scenarioprosesser bygger på en annen filosofi og andre forutsetninger enn andre fremtidsverktøy, som prognoser og fremskrivninger. I tradisjonelle planleggingsprosesser er nåsituasjonen og den umiddelbare fortiden utgangspunkt for å lage det mest sannsynlige fremtidige utviklingsforløpet. Mens prognoser og fremskrivninger meisler ut en tilnærmet endimensjonal fremtidsforestilling, forbereder scenariobyggingen oss på et komplekst sett av flere mulige fremtidige utviklingsforløp. Nettopp usikkerhetene om fremtiden er grunnlaget for variasjonene i antakelsene om hva som kan skje fremover.

Fremtidstenkning i dag baserer seg ikke på å redusere usikkerhet. Den baserer seg tvert imot på innsikten om at all fremtid i stor grad er usikker. Det lar seg ikke gjøre å justere den bort med tilleggsvariable og tekniske korreksjoner. Usikkerheten må tas til etterretning og gjennomsyre håndteringen av alle spørsmål om fremtidens utviklingsforløp. Det er akkurat på dette punktet scenariotenkningen og -byggingen skiller seg fra prognoser og fremskrivninger.

Spentstige ideer og anbefalinger

Prosjektet Avanserte materialer Norge 2020 la stor vekt på å få til gode dialoger og gruppeprosesser. Derfor ble prosessen lagt opp som en rekke fremtidsdialoger gjennom tre samlinger. De første to samlingene konsentrerte seg om å få frem fremtidige mulighetsrom, mens den siste satte søkelyset på de strategiske implikasjonene av slike muligheter.

For riktig å få opp temperaturen og kreativiteten fikk deltakerne på den siste delen av første samling utforme såkalte miniscenarier. Fordelen med miniscenarier er at de ikke er for lange, og at det lar seg gjøre å få frem et stort antall spentstige ideer knyttet til ulike temaer og områder (faktorer og aktører). Ulempen er at kompleksiteten blir overveldende stor, noe som kan gjøre utarbeidelsen av helhetlige og konsistente scenarier til litt av en utfordring. Tilbakemeldingen fra deltakerne gikk klart i retning av at de syntes miniscenariodiskusjonene både var kreative, spennende og utfordrende.

I slike prosesser er det helt avgjørende for deltakerne å vite hva de skal gjøre når. Man bør vite når man befinner seg i «scenariomo-

Hvem får rett?

Foresight og scenarier handler ikke om å få rett i ettertid. Snarere handler det om å ta feil på interessante måter. Scenariobygging er å se flere fremtider samtidig og bryte med tradisjonelle mønstre.

dus», der mulighetene og det som kan skje blir diskutert, og når man befinner seg i «strategimodus», der hva man vil prioritere og hva man bør gjøre, står i forgrunnen. I vår prosess representerte samling 1 og 2 et klart «scenario-modus», mens samling 3 beveget seg over i et «strategimodus». Resultatet av denne siste



Veivalg 21: Magny Thomassen (havbruk), Hilde Lovett (IKT), Kjetil Taskén (bioteknologi), Helmer Fjellvåg (avanserte materialer) og Helle Mostad (energi) ga fremtidsvyer til deltakerne på konferansen Veivalg 21. Foto: Samfoto

dialogen inngår i prosjektets strategiske anbefalinger (se s. 55).

De strategiske anbefalingene er det egentlige resultatet av hele prosjektprosessen. Scenariene har vært virkemidler for å få frem spennende og interessante tanker og ideer til oppfølging og gjennomføring i en stor strategisk forsknings-satsing på materialteknologi i nær fremtid.

I valget av metodikk og tilnærming tok prosjektledelsen særlig to hensyn. For det første måtte prosessene ha en bredde av deltakere som kunne representere næringsliv (fra produktdesignere til materialprodusenter og vareprodusenter), andre brukergrupper, ulike materialtyper, fagområder relevante for materialteknologien og, selvfølgelig, forskningen selv. For det andre måtte innfallsvinkelen både provosere og utfordre deltakerne. Samtidig

skulle de få følelsen av å ha vært med på noe spennende og matnyttig med hensyn til vurderinger og prioriteringer av satsingsområder innen materialforskning i fremtiden.

Valget falt på en bred dialogbasert scenario-prosess med en god del flere deltakere enn i tradisjonelle planleggingsprosesser. Dermed oppsto en annen utfordring, nemlig hvordan få til en bred prosess uten at det sluker altfor mange ressurser og varer for lenge?

Tilbakemeldingene og resultatene viser at prosjektet langt på vei lyktes med dette. Det ble gjennomført i alt tre samlinger som bygget på hverandre. Det hele kuliminerte med presentasjonen på Veivalg21-konferansen 3. mai 2005.

Avanserte materialer Norge 2020 er ett av fem foresight-prosjekter i Norges forskningsråd. De øvrige er innenfor bioteknologi, energi, havbruk og IKT. Resultatene fra de fem prosjektene skal samles og analyseres i en synteserapport i regi av Forskningsrådet.

Synteserapporten skal brukes i Forskningsrådets oppfølging av teknologiområdene og de tematiske prioriteringene i den nye Forskningsmeldingen. Synteserapporten vil også bli brukt i den strategiske dialogen med departementene.

Scenarioprosessen og dialogprosesser

- *Samling 1: 27.–28. oktober 2004:* Ca. 60 deltakere. Identifikasjon av drivkrefter (aktører og faktorer). Miniscenarier for de viktigste aktører og faktorer.
- *Samling 2: 1. desember 2004:* Ca. 50 deltakere. Situasjonsscenarier i 2020. Utviklingsbaner for scenariene.
- *Samling 3: 26. januar 2005:* 60–70 deltakere. Fra scenarier til muligheter og utfordringer. Identifisere FoU-behov.

I tillegg ble det arrangert dialogprosesser med andre relevante fagområder:

- *Dialogprosess for bygg, anlegg og eiendomsforvaltning (BAE-næringen).* Ca. 25 deltakere. Scenarioprosessen og resultatene fra prosessen er dokumentert i en egen rapport.
- *Dialogprosess for olje- og gasssektoren.* OG21 og Avanserte materialer Norge 2020 arrangerte et diskusjonsmøte mellom representanter for olje- og gassindustrien (både operatører og underleverandører) og representanter for FoU-miljøene i mars 2005. Dialogprosessen og resultatene er dokumentert i en egen rapport.

Forvitring eller fornyelse

I 1987 presenterte prosjektet «Scenarier for Norge mot 2000» tre scenarier: Omsorg, Fornyelse og Forvitring. I dag, nesten 20 år senere, er det blitt litt av alt. Litt omsorg basert på oljeinntekter, litt fornyelse basert på norske forretningsideer, og litt forvitring pga. svak forskningsinnsats og for liten fornyelse. Likevel går norsk økonomi så det suser. Hva vil skje i 2020?

Med ståsted i 2005 er *Forvitring* et av hovedscenariene også i 2020. Hvis norsk industri ikke fornyes, svekkes grunnlaget for økonomisk, sosial og kulturell utvikling. Varsellampene blinker. I løpet av de siste 30 årene har 125 000 eller en tredjedel av alle industriarbeidsplassene forsvunnet. 65 000 av disse er gått tapt bare siden 1998. I Norge har industrinedbyggingen gått litt lenger enn i andre land fordi oljeinntektene har gjort deler av industrien mindre attraktiv og mindre lønnsom.

I en fremtid der norsk industri forvittrer, må tapet av arbeidsplasser og inntekter erstattes av nye tjenester. Utfordringen er at tjenestene neppe vil greie å øke i samme omfang. For eksempel: Uten prosessindustrien må tjenestesektoren i Norge øke med 100 milliarder kroner ut fra dagens omsetningstall. Prosessindustrien har en høy eksportandel, det er lite trolig at de nye tjenestene vil oppnå en like høy eksportandel. Mange tjenester kan heller ikke vokse uten i samspill med vareproduksjon. Med nedlagt eller utflyttet industri går utviklingen i Norge sin skjeve gang, og landet blir enda mer avhengig av oljeinntektene.

Det motsatte scenariet *Fornyelse* er også like aktuelt for 2020. Forskjellen mellom et forvitringsscenario og et fornyessscenario ligger i stor grad i evnen til å opprettholde en industriell kompetanse knyttet til teknologi, organisasjon og strategisk ledelse. Materialteknologi spiller en nøkkelrolle.

At Norge henger med i utviklingen innen materialteknologi, er en nødvendig forutsetning for industriell fornyelse og økt verdiskaping. Spesielt gjelder det næringsvirksomhet knyttet til naturgitte ressurser som havbruk, petroleum og vannkraft, men også prosessindustri og vareproduserende industri. Og ikke minst for å



*Norge kan ikke leve av olje og gass alene.
Foto: Statoil*

utnytte muligheter som åpner seg i samspillet mellom nye teknologier innen IKT, bioteknologi og nanoteknologi. Samarbeidet mellom en levende industri og ledende internasjonale forskningsmiljøer er en avgjørende forutsetning for industriell verdiskaping.

Foresight-prosessen i prosjektet Avanserte materialer Norge 2020 viser alternative veier for fornyelse av norsk industri og næringsliv. I prosessen ble det utviklet tre sentrale strategiske scenarier for industriell fornyelse i Norge basert på material- og nanoteknologi:

- Tradisjon gir resultater
- Innovated in Norway
- Fra vugge til vugge

Alle tre tar utgangspunkt i sentrale sektorer i næringslivet og samfunnet: *Transport og mobilitet, Fremtidens produksjon og produkter og Helse, velferd og livsstil.*

Tradisjon gir resultater!

Styremøte i Material ASA 2020:

3D-prosjektoren er klar for å kjøre en virtuell tur til Vestlandet. Konsernsjef Hans Hansen er spent. I dagens styremøte skal han legge frem den nye investeringsplanen til 10 milliarder kroner. Men han er sikker i sin sak:

Avansert produksjon av de nye aluminium- og magnesiummaterialene med skreddersøm til bilindustrien vil gi en pen avkastning.

Hansen oppsummerer: Markedet er i vekst og vi har muligheten til å styrke vår posisjon på materialer til biler og andre kjøretøyer der design og kvalitet står i fokus. De nyeste materialene med smarte sensorer innebygd, er en sikker vinner.

I dag kan vi prise oss lykkelige for at vi ikke kastet oss på nanoteknologibølgen for 15–20 år siden, og i stedet kjøper teknologien vi trenger når den er moden. Strategien har gjort Material ASA til et verdensomspennende selskap med styrket posisjon på tradisjonelle materialer.

I dag nyter vi godt av at forskningsmiljøene og myndighetene beholdt oppmerksomheten om de områdene der Norge har vært sterke. Norske forskningsmiljøer har kompetanse i verdens toppen på lettmetaller og kompositter, materialer som inngår i de fleste moderne produkter. Spesielt transportsektoren etter spør de «norske» materialene mer og mer.

Hovedpunkter i scenariet

- *Samfunnet.* Norge er et velstandssamfunn basert på oljeinntekter. Internasjonal usikkerhet med høye oljepriser. Forbud mot bruk av nanopartikler og nanorør. Hydrogen som energibærer er ikke interessant for Norge.
- *Industrien.* Lettmetall-, kompositt- og plastindustrien står sterkt internasjonalt og er viktige bidragsytere til verdiskapingen. Transportsektoren, spesielt biler og skip, er største kundegruppe. Lite annen høyteknologiindustri. Norge eksporterer elektrisk kraft.
- *Forskningen.* Søkelys på avansert bruk av tradisjonelle materialer som aluminium, magnesium, silisium, tre, plast og kompositter. Lite på nanoteknologi. Nært samarbeid med næringslivet.
- *Forbrukerne.* Frykter for sykdommer og skadevirkninger av bio- og nanoteknologi. Har presset politikerne til forbud. Opptatt av kvalitet og design.

Situasjonen for Norge i 2020

Norge har bygd videre på de tradisjonelle næringsområdene der vi med utgangspunkt i lang industriell erfaring og høy kompetanse hadde særlige forutsetninger for å lykkes. Vi har innsett at å konkurrere med de fremste industrilandene som USA og Japan og de fremste utviklingslandene som Kina og India om å ligge i front innen

høyteknologi, ikke er veien å gå. Disse næringsområdene sammen med fortsatt stor produksjon av olje og gass utgjør fundamentet for nasjonaløkonomien.

Det mest positive ved utviklingen er suksessen innen lette materialer, spesielt aluminium, magnesium, plast og kompositter. Der mente mange at Norge ville falle

igjennom ved verken å lykkes som materialprodusent fordi energikostnadene var for høye, eller innenfor foredling og ferdigvarer fordi vi lå for langt fra markedene. Gjennom en målrettet satsing har vi imidlertid lyktes i å bli en ledende leverandør og et internasjonalt kompetansesenter for slike materialer og produkter. Produksjonsvolumet er redusert, men produktspekteret er til gjengjeld basert på høyt betalte materialkvaliteter og en lang rekke ferdigvarer. Transportsektoren har vært et spesielt satsingsområde for lette materialer. Det har videre vært et gjennombrudd i utvikling av kosteffektiv prosess teknologi for solcellesilisium, og ferrolegeringsindustrien står fortsatt sterkt.

De store forventningene som mange hadde til ny industriell virksomhet basert på nanoteknologi og annen høyteknologisk industriproduksjon, ble ikke innfridd.

Delvis skyldtes dette uforutsette hendelser med alvorlige helsemessige konsekvenser som ble sporet tilbake til nye nano- og biomaterialer. Dette førte til holdningsendringer der både politikere og allmennheten ble skeptiske til det meste av forskning innen bio- og nanoteknologi.

Velstandsnivået i Norge er fremdeles blant de høyeste i verden. Olje- og gassinntektene har holdt seg på et høyt nivå, takket være at energiknapphet internasjonalt

har gitt høye oljepriser. Gass spiller en stadig viktigere rolle i Norge, både i form av gasskraft, som råstoff for industrien og som eksportvare. Økte inntekter fra sterke næringsklynger som havbruk og materialindustri, har vært viktige bidragsytere til å opprettholde levestandarden.

Miljøpolitikken er blitt mer målrettet. Norge har satset spesielt på de vesentligste tiltakene for en langsiktig, bærekraftig utvikling. Gasskraft med fjerning og reinjisering av CO₂ i reservoarene utnyttes i stor skala. Kraftproduksjonen er basert på vannkraft, gass og vind, og Norge er nettoeksportør av elektrisk kraft. Hydrogen som energibærer ble ikke vurdert som spesielt interessant for Norge, og tidligere satsing på dette er avsluttet.

Internasjonalt er situasjonen ustabil. Det har vært vedvarende politisk uro i viktige oljeland i Midtøsten. Terrorhandlinger er fremdeles et internasjonalt problem. Dette har både medvirket til høye oljepriser og at energikrevende produksjon i mindre grad enn forventet er lagt til oljelandene i Midtøsten. Norges posisjon som stabil energileverandør er derfor ekstra viktig. Kina og andre asiatiske land har fortsatt sin industrielle utvikling, noe som har gitt økende knapphet på mange råvarer, inklusive konstruksjonsmaterialer som stål og aluminium.

*Lette biler med lite energiforbruk.
Ill: Audi*



SCENARIO 1: Tradisjon gir resultater!

Situasjonen knyttet til ulike typer materialer og nanoteknologi

• *Viktige materialanvendelser i samfunnet:* Det er gjennomgående stor oppmerksomhet rundt materialenes bruksegenskaper og livssyklus. Samtidig er sluttbrukerne opptatt av både kvalitet og design. De forventer at materialene skal opprettholde egenskapene gjennom produktets levetid og at materialleverandøren tar et ansvar for dette. Bruksegenskaper er bedret gjennom utvikling av nye materialkvaliteter og overflatebehandling.

• *Produksjon av tradisjonelle materialer:* Det har vært en generell utvikling mot en spesialisering som gir høyere verdi på produktene. Resirkulering og sporbarhet er viktige ved leveranse til krevende kunder. Norsk ekspertise og leverandørindustri er internasjonalt konkurransedyktig i enkelte nisjer. Ved utvikling av materialkvaliteter søker leverandørene fra starten å se kundens ønsker om funksjon og bruksegenskaper i sammenheng med egnede fremstillings- og bearbeidingsprosesser. Avanserte modellerings- og simuleringsmetoder er viktige hjelpemidler.

Eksempler på områder hvor norske materialleverandører har etablert sterke

markedsposisjoner basert på videreutvikling av tradisjonelle materialer, er:

- Nye aluminiumlegeringer med høy korrosjonsmotstand og høy styrke.
- Kostbare plastkvaliteter som er mer slag- og varmebestandige.
- Miljøvennlig emballasjeplast som går i oppløsning over tid.
- Nye kvaliteter av ferrolegeringer for nye bruksområder.
- Nye papirkvaliteter som gir forlenget holdbarhet av trykk og farger.
- Ny overflatebehandling av tre som forhindrer nedbrytning pga. fukt og lys.
- Forbedret bearbeidings teknologi for mineraler og stein som har gitt mange nye design- og bruksmuligheter.

• *Produksjon og bruk av nye materialer og nanomaterialer:* Selv om Norge ikke satset på egen produksjon av nye, avanserte materialer, brukes slike materialer, importert fra utlandet, i betydelig grad i vareproduksjon i Norge. Kunnskap om nye materialer og nanoteknologi har lagt grunnlaget for videreutvikling og revitalisering av norsk-produserte, tradisjonelle basismaterialer. I lettmetallene er nanoteknologi brukt til å øke styrke og korrosjonsmotstand. Norge har klart å kombinere det beste i de tradi-

Muligheter for norsk næringsliv

Transport og mobilitet: Høye energipriser har økt etterspørselen etter lette konstruksjonsmaterialer i transportsektoren. Utvikling av materialkvaliteter som møter økte krav til støtabsorpsjon, utmatingsfasthet og korrosjonsbestandighet, har gjort at aluminium, magnesium og plast har funnet store, nye markeder i bilindustri og skipsbygging. Norge har bygd opp en nisje innen hurtiggående fartøyer bygget av lette materialer.

Produksjon og produkter: Næringslivet har innsett at det er lettere å lykkes i den internasjonale konkurransen om det tar utgangspunkt i et etablert industrielt miljø og bruk av tradisjonelle materialer.

Tett samspill mellom norske materialprodusenter og produktutviklere hjemme og i utlandet basert på kundenes behov, gir vesentlige konkurransefortrinn. Industrien bygger mer intelligens inn i de konvensjonelle materialene.

Helse, velferd og livsstil: I den grad Norge har satset på produkter for denne sektoren, dreier det seg i hovedsak om bruk av tradisjonelle lette materialer og produkter med ny design og funksjonalitet. Avanserte materialer eller produkter basert på bio- eller nanoteknologi produseres i meget begrenset omfang etter den gjennomgripende skepsisen i befolkningen til disse teknologiene.

sjonelle materialene med de nye mulighetene som den internasjonale utviklingen innen avanserte materialer har skapt. Dette har åpnet for nye anvendelser og nye markeder for disse materialene.

• *Materialforedling, vareproduksjon og fabrikasjon:* Selv om lettmetaller, ferrolegeringer og plast sammen med andre råvarer som treprodukter og stein utgjør hoveddelen av norsk materialproduksjon, er det tatt et langt skritt fremover i videreforedling. Samspillet med utenlandske bedrifter er styrket, og skreddersydde spesialmaterialer utvikles i samarbeid med brukere, produktutviklere og designere. Det bygges nå betydelig mer kunnskap inn i tradisjonelle materialer. Sensorer som er bygget inn i ulike komponenter, kommuniserer trådløst med materialdatabaser og gir data om produktets tilstand og restlevetid. Komponentene lar seg spore slik at resirkuleringen blir enklere.

Materialer med spesielle og forbedrede bruksegenskaper danner grunnlag for at norske bedrifter kan hevde seg som underleverandører for utenlandske systemleverandører, for eksempel til bilindustrien. Magnesium er attraktivt etter en videreutvikling av komponentindustrien som vokste frem på slutten av forrige århundre.

• *Situasjonen innen materialforskning:* Norske forskningsmiljøer innen lettmetaller har fått styrket finansiering og har fortsatt sitt nære samarbeid med næringslivet. Innen plast og kompositter er det bygd opp sterke fagmiljøer ved universitetene. Dette har ført til at vi har internasjonalt ledende forskningsmiljøer innen lette materialer. De har et sterkt internasjonalt nettverk og et nært samarbeid med industriklynger innen materialproduksjon og videreforedling. Det er etablert flere sentre for forskningsdrevet

innovasjon som nyter stor internasjonal anerkjennelse. For funksjonelle materialer og nanoteknologi ble ambisjonen begrenset til å bygge opp god, anvendbar kompetanse knyttet til industriell bruk av slike materialer. Det er bl.a. satset på å bygge opp gode utdanningstilbud i samarbeid med ledende internasjonale FoU-miljøer.

Norsk nanorør-fri sone

Totalforbud mot utvikling, produksjon og bruk av nanorør. Etter debatten i NRK TV, der den trakasserte mannlige nanoprofessoren gråtende forlot sendingen, ble det satt i gang en rekke tendensiøse artikkelserier i et økende antall dagsaviser. Dette førte til at Stortinget krevde at regjeringen måtte legge frem et forslag til lov mot utvikling, produksjon og bruk av nanorør i Norge.

Sentrale hendelser frem til 2020

I perioden 2005 til 2007 var den gjengse oppfatning at norsk næringsliv måtte satse på høyteknologi i stedet for tradisjonell prosess- og materialindustri for å kompensere fremtidige fallende inntekter fra olje- og gasssektoren. Forskning innen nye, avanserte materialer og nanoteknologi ble sterkt prioritert fremfor videreutvikling av tradisjonelle materialer.

Skepsisen til denne skjevfordelingen vokste raskt og kulminerte i Innovasjonsmeldingen som kom høsten 2007. Bakgrunnen var klare tegn på at de tradisjonelt sterke, norske industrimiljøene innen materialer var i ferd med å forvitne eller å bli flyttet ut.

Innovasjonsmeldingen bygget på politisk konsensus om igjen å prioritere den tradisjonelle industrien. Det ble etablert store forskningsprogrammer som basis for ny verdiskaping innen områder der Norge hadde spesielle forutsetninger, særlig innen materialer, energi og havbruk. Forskningsnæringstilknytning ble viet spesiell oppmerksomhet. En samlet visjon for lette materialer ble utviklet i et samarbeid mellom industri og forskningsmiljøer. En viktig ambisjon var å utvikle en intelligent råvare-

SCENARIO 1: Tradisjon gir resultater!

Smart produksjonsteknologi

For å motvirke utflytting av produksjonsenheter og for å redusere transportforbruket har norske myndigheter valgt å satse på produksjon i Norge. Rammevilkårene stimulerer økt teknologikompetanse, bl.a. ved solid satsing på utdanning og FoU. Dette har ført til at Norge er blitt ledende på automatisk og rask omstillbar produksjon.

og videreforedlingsindustri i et samspill mellom bruker og materialprodusent med vekt på produktutvikling, design og avansert materialbruk.

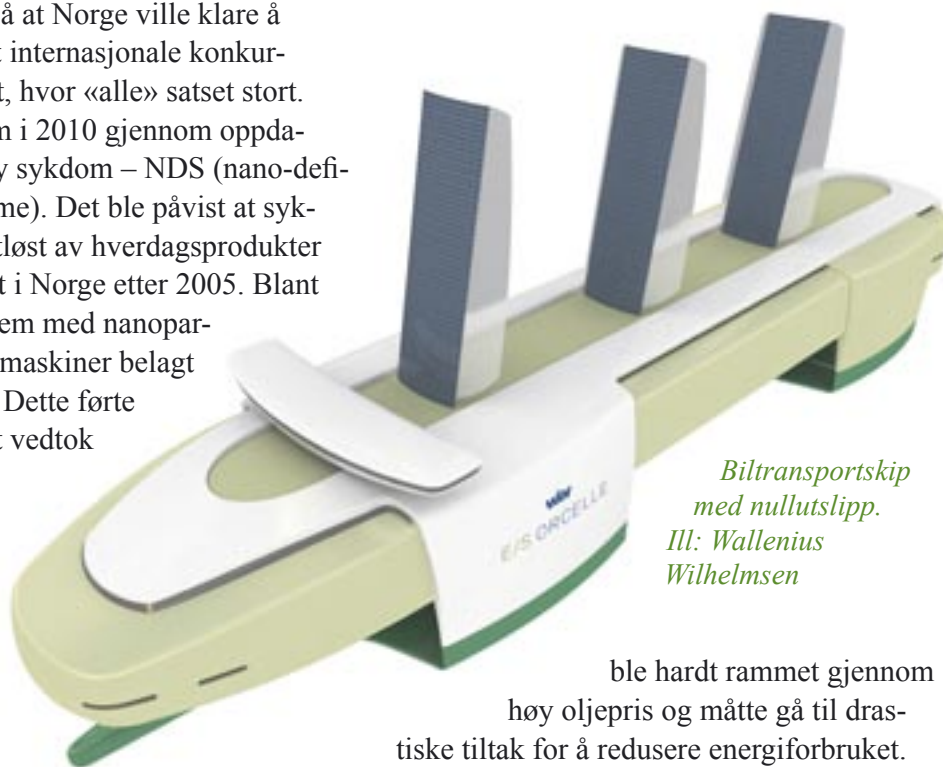
Satsingen på nye materialer og nanoteknologi ble redusert, delvis basert på sviktende tro på at Norge ville klare å hevde seg i det internasjonale konkurransekappløpet, hvor «alle» satset stort. Dødsstøtet kom i 2010 gjennom oppdagelsen av en ny sykdom – NDS (nano-deficiency-syndrome). Det ble påvist at sykdommen ble utløst av hverdagsprodukter som ble innført i Norge etter 2005. Blant dem var hudkrem med nanopartikler og vaskemaskiner belagt med nanosølv. Dette førte til at Stortinget vedtok en ny lov mot bruk av de fleste typer nanopartikler og nanorør i Norge.

Samtidig skjedde urovekkende hendelser knyttet til anvendelser av bioteknologi i utlandet. De skapte sterk mistillit til bioteknologi i brede deler av befolkningen. Stortinget vedtok til slutt i 2012 fullt moratorium på forskning innen store deler av disse områdene og strenge regler og offentlige godkjenningsordninger for anvendelser.

I Innovasjonsmeldingen ble transportsektoren utpekt som et særdeles viktig

satsingsområde, og lette materialer var midt i blinken for dette, ikke minst sett i et internasjonalt perspektiv. Denne satsingen begynte fra år 2013 å gi god avkastning, og norske produsenter styrket stadig sin stilling i det globale markedet.

Norge fikk også god drahjelp gjennom internasjonale begivenheter som medførte vedvarende høye priser på norsk olje og gass, og som gjorde at lette materialer ble stadig mer etterspurt av globale energisparehensyn. I 2013 overtok radikale islamister makten i Saudi-Arabia og stoppet leveranser av olje til vestlige land. Flere andre land i Midtøsten sluttet seg til denne aksjonen. Både EU og USA



*Biltransportskip med nullutslipp.
Ill: Wallenius
Wilhelmsen*

ble hardt rammet gjennom høy oljepris og måtte gå til drastiske tiltak for å redusere energiforbruket. Mange produsenter av energikrevende råmaterialer måtte stenge, og lettere transportmidler med lavt energiforbruk ble mer og mer etterspurt.

I tillegg til de langsiktige fordelene som Norge hadde av oljekrisen, styrket Norge sin stilling som en ledende energinasjon ved å utvikle en ny miljøvennlig teknologi for gasskraftverk kombinert med deponering av CO₂. Totalt førte dette til at Norge i 2015 ble en nettoeksportør av elektrisk kraft.

Innovated in Norway

Styremøte i Material ASA 2020

3D-prosjektoren er klar for å kjøre en virtuell tur landet rundt. Konsernsjef Hans Hansen er spent. I dagens styremøte skal han legge frem den nye investeringsplanen til 10 milliarder kroner. Men han er sikker i sin sak:

Oppkjøp av de 20 ledende små og mellomstore bedriftene innen sensorteknologi for energi, miljø og helse vil gi en pen avkastning. Børsverdien på disse selskapene vil mangedobles.

Hansen oppsummerer: Avanserte produkter basert på material- og nanoteknologi har gjort Norge like kjent som olje- og gassseksporten. Kundene vil ha smartere og mindre sensorer. De norske SMB-ene har fått en sterk markedsposisjon innen trafiksikkerhet, både i kjøretøyene og langs

veiene. På helsesektoren er selskapene vi vil kjøpe, blant de ledende i verden innen diagnostisering, medisiner, fjernkirurgi og telemedisin. «Lab on a chip» plassert i menneskekroppen gir varsel om kreft, hjerteinfarkt og diabetes. For ikke å snakke om bedriftene som allerede tjener gode penger på sensorer for olje- og gassindustrien eller jobber i solcellebransjen. Høy teknologikompetanse er koblet med en god kultur for design.

I dag kan vi være glade for at selskapet gikk ut av de tradisjonelle industribedriftene for femten år siden da Stortinget vedtok å satse tungt på forskning og utvikling innen energi, miljø og helse. Material- og nanoteknologi ble bærebjelken i de tre områdene.

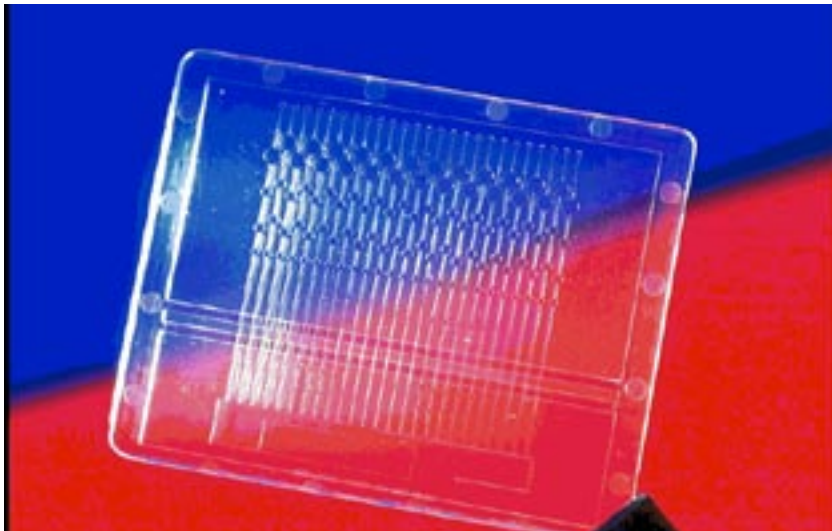
Hovedpunkter i scenariet

- *Samfunnet.* Norge er et velstandssamfunn hovedsakelig basert på olje- og gassvirksomheten. Store deler av befolkningen i Asia er kommet opp på vestlig velstandsnivå. Nanoteknologi har økt interessen for realfag.
- *Industrien.* Mye av den tradisjonelle industrien er lagt ned eller flyttet til utlandet. En skog av internasjonalt konkurransedyktige små og mellomstore bedrifter basert på høy kompetanse om materialer og nanoteknologi, er vokst opp. Sensorer og helseteknologi er blitt nye eksportartikler. Solceller og hydrogentanker likeså. «Personlig Produksjon» er på vei ut i markedet.
- *Forskningen.* Søkelys på materialer for fornybar, miljøvennlig energiteknologi og på sensorer for olje- og gassindustrien og helsesektoren. Materialer for medisinske anvendelser som diagnostikk, overvåking og proteser.
- *Forbrukerne.* Med utgangspunkt i høy kompetanse og god kultur for design og produktutvikling er «Innovated in Norway» blitt et internasjonalt begrep som er synonymt med spennende kvalitetsprodukter.

Situasjonsbeskrivelse 2020

Nye materialer har skapt et nytt og innovativt næringsliv som følge av en vellykket nasjonal satsing innen nanoteknologi og nye materialer. Industrien domineres av bedrifter som lager nye produkter med god funksjonalitet, etterspurt design, lang levetid og høy gjenbruksverdi. Norge

betjener et stort marked for avanserte sensorer for kjøretøy og veier. Membraner til mange formål er en stor eksportartikkel. Smarte sensorer gjør at vi får mye mer ut av olje- og gassressursene. «Lab on a chip» plassert i menneskekroppen gir varsel om kreft, hjerteinfarkt og diabetes. Det norske



DNA-analyser i en fei med «Lab on a chip». Ill: Norchip

særpreget med sterk individualisme og stor kjøpekraft gjør Norge til et innovatørmarked for internasjonale bedrifter.

I 2020 er underskogen av små og mellomstore bedrifter, som ble startet på grunnlag av forskningsaktivitetene, bred og dynamisk. Bedriftene er internasjonalt konkurransedyktige innen sine nisjer av etterspurte høyteknologiprodukter rettet mot industrielle anvendelser. Med utgangspunkt i høy kompetanse og god kultur for design- og produktutvikling, har vi også lyktes med å få frem en lang rekke meget spennende produkter for forbrukermarkedet. «Innovated in Norway!» er blitt et begrep som er synonymt med spennende produkter med høy kvalitet og høy gjenbruksverdi.

Velstandsnivået i 2004 er opprettholdt i 2020 til tross for en aldrende befolkning og økte utgifter på helse- og sosialbudsjettet. I første omgang var det oljefondet og oljeinntektene som finansierte velferdsutgiftene, men de nye satsingsområdene har etter hvert gitt en betydelig økonomisk avkastning. Befolkningen nyter godt av like helsetilbud med god kvalitet. Forbedret diagnostisering og individtilpasset behandling, fjernkirurgi og telemedisin har bidratt til å gjøre dette mulig.

Olje- og gassvirksomheten har fortsatt en dominerende betydning for norsk økonomi. Fokuseringen på miljøovervåking og renseteknologi har gitt synergieffekter mellom olje- og gass- og miljøsektorene.

Resirkulering, energiøkonomisering og fornybar energi er tema som er aktuelle innen en stadig mer globalisert verden og stadig strengere krav som fungerer som en katalysator på

den nasjonale aktiviteten innen materialeforskning i dette feltet. Utviklingen internasjonalt innen sensorteknologi har videre gjort det mulig å tilfredsstille nye krav om overvåking og kontroll av industrielle prosesser og klima.

Kravene til miljømerking er blitt svært utbredt, grunnet sterk forbrukerstyring kombinert med myndighetenes krav. Produkter basert på norskprodusert sekunderaluminium har fått et fortrinn på verdensmarkedet på grunn av livssyklusanalyser og nær fullstendig gjenbruk.

På den internasjonale arena har store deler av befolkningen i Asia kommet opp på samme velstandsnivå som den vestlige verdens. Regionen er en dominerende leverandør til verdensmarkedet og premissgiver for mange teknologiske standarder. Global utjevning av levestandarden har redusert forskjellene, og gjensidig avhengighet på verdensmarkedet har bidratt til et lavere konfliktnivå mange steder i verden.

Situasjonen knyttet til ulike typer materialer og nanoteknologi

• *Produksjon av tradisjonelle materialer:* Prisene på verdensmarkedet for både aluminium og ferrolegeringer har holdt seg høye, men produksjonskostnadene i Norge ble etter hvert for store. Det meste av denne industrien ble nedlagt eller flyttet til utland-

et. Fortsatt drives det imidlertid betydelig omsmelting av aluminium og magnesium, og dette danner utgangspunktet for produksjon av bl.a. ulike spesiallegeringer. Plast- og forskjellige komposittmaterialer utgjør også et betydelig produksjonsvolum.

Gjennom norsk forskning har man funnet frem til gode metoder for resirkulering av slike materialer hvor uønskede komponenter skilles ut ved hjelp av nyutviklet teknologi. Solcellesilisium er svært etterspurt, og norske bedrifter som tidligere bare produserte silisium, har blitt verdensledende produsenter av solcelleteknologi og -systemer.

• *Produksjon og bruk av nye materialer og nanomaterialer:* Etter restruktureringen av forsknings- og innovasjonssystemet i 2006 ble midlene rettet mot grunnleggende forskning innen fagfelt med stort potensial for innovasjon. Hybridmaterialer, skreddersøm, kompositter, kombinasjon av funksjoner, nye solcellematerialer, nanoteknologi, membraner og lette materialer til transportsektoren, har blitt sterke nisjer i Norge fordi miljø og energi har vært sterkt prioritert.

Robuste materialer og utvikling av optimale og til dels banebrytende materi-

altekniske løsninger har vært en avgjørende forutsetning for at olje- og gaseventyret fortsatte utover 2000-tallet. Videreutviklingen av norsk sektor mot mer krevende felt og tøffere driftsbetingelser med økte krav til sikkerhet, størst mulig vedlikeholdsfrihet og garantier mot miljøfarlige utslipp har vært drivende faktorer. Dette stiller enda strengere krav til samspillet mellom design og materialvalg for å sikre robuste løsninger, og det fordrer smarte og avanserte løsninger for overvåking, kontroll, driftsregulering og styring.

Sensorstyrt korrosjonsbeskyttelse og overflatebehandling, ofte basert på nanoteknologi, og sensorfølt korrosjonsovervåking er viktige områder hvor norsk FoU ligger i verdensklasse. Utvinning på store dyp krevde at Norge måtte bli ledende på stigerørsteknologi. I 2020 er det utviklet komposittmaterialer og nye metalliske materialer med aluminium- og titanlegeringer. Sensorteknologi utviklet for dypvannsutvinning la grunnlaget for viktige anvendelser innen medisin, helse og trafiksikkerhet.

Hybridbilen basert på batterier som ble utviklet i et stort EU-prosjekt med norsk deltagelse, har fått godt fotfeste i markedet.

Muligheter for norsk næringsliv

Transport og mobilitet: Lette materialer som aluminium, magnesium, kompositter og plastmaterialer dominerer i kjøretøyene. Forskning innen nanoteknologi har skapt materialer som tåler kraftige kollisjoner, og overflatebelegg som gir nærmest vedlikeholdsfrie kjøretøy. Faste lagringsmedia for hydrogen er nær kommersialisering. Alle transportmidler har innebygde sikkerhetssensorer og GPS-systemer som varsler og regulerer trafikken.

Produksjon og produkter: Det norske særpreget med sterk individualisme og stor kjøpekraft har gjort Norge til et interessant innovatørmarked for internasjonale bedrifter. Forbrukerne krever bærekraftige, sikre, individuelt tilpassede kvalitets-

produkter. Smarte materialer som gjør det mulig med 99 prosent kretsløpslukking og fjerning av kjente giftstoffer har vært en internasjonal suksess for norske bedrifter, spesielt høyteknologiske små og mellomstore bedrifter.

Helse, velferd og livsstil: FoU innenfor nanoteknologi, bioteknologi og IKT over hele verden ga flere teknologiske gjennombrudd. Skreddersydd medisiner og telemedisin har revolusjonert helsetilbudet. Utvikling av intelligente materialer og biomedisinske sensorer for pasientovervåking er områder hvor innsatsen i Norge har båret frukter. Biokompatible materialer og mikrosystemer brukes daglig ved organ-, vev- eller benreparasjon.

Den opplyste forbrukeren

Den norske forbrukeren handler stort sett hjemme. I multimedierommet orienterer han seg i 3-dimensjonale virtuelle fremstillinger av produktet som inkluderer lyd, bilder, kjensel, smak og lukt. Han får vite om de miljø- og energimessige konsekvensene av sitt valg. Han prøver produktet virtuelt for å få et helhetsinntrykk før han bestiller sin egen spesialtilpassede utgave. Alle hans unike mål og ønsker overføres digitalt til leverandører som setter i gang produksjon omgående.

I Norge har man ikke basert seg på bulkproduksjon av nye, funksjonelle materialer. Det er derimot systemintegrasjonen og kunnskapen om hvordan slike materialer kan kombineres som i hovedsak har gitt grunnlaget for fremveksten av ny industri. Dette har ført til en relativt stor del av verdiskapingen knyttet til disse produktene ligger i Norge, selv om bulkproduksjonen foregår i utlandet.

• *Materialforedling, vareproduksjon og fabrikasjon:* Resirkulering av alle materialer vektlegges. Produksjonen er blitt mer automatisert og høyteknologisk. Integre-ring av design i produksjonen står sentralt. Produksjonen foregår delvis i andre land, men med utgangspunkt i norsk produktutvikling og design. Typisk er masseproduksjon i Kina og individtilpasset produksjon i Norge. Strategien som gjorde at mange norske bedrifter lyktes på det internasjonale markedet, var overgangen fra å være en ren komponentleverandør til å bli en premiss-giver for produktutvikling og samtidig en system- og teknologileverandør.

Helse- og medisinsk forskning er eksempler på områder hvor denne strategien har gitt god avkastning. Det offentlige satset sterkt på utvikling av medisinske anvendelser innen geriatri, diagnostikk, overvåking, screening, proteser, genetikk og sensorer, og dette åpnet store markeder i utlandet for norske bedrifter.

Sikkerhetsovervåking ble også et viktig forretningsområde for flere små og mellomstore bedrifter som et naturlig resultat og implementering av flere års intensiv forskning innen sensorteknologi.

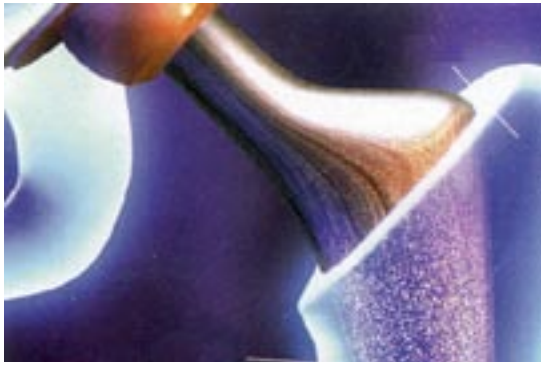
Sentrale hendelser frem til 2020

Etter flere strategiprosesser for norsk forskning og ny næringsutvikling la politikerne i samråd med næringslivet, universiteter og forskningsinstitusjoner frem en serie kriterier for valg av fremtidige satsingsområder i 2006:

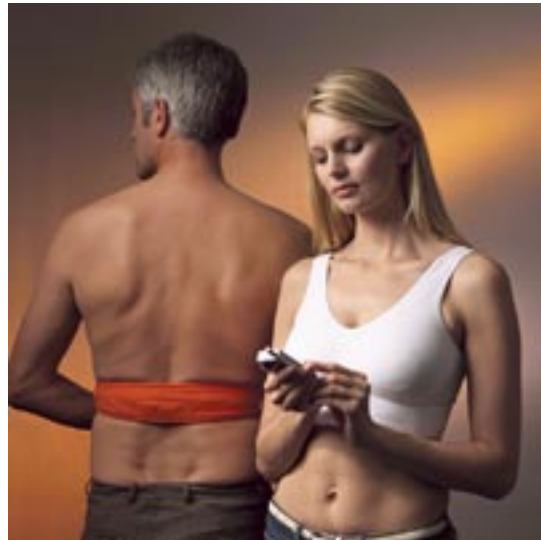
- verdiskapingen skal skje i Norge
- bærekraftig utvikling må legges til grunn
- etiske prinsipper skal være ledende
- det skal satses innenfor nisjer hvor det er realistisk å lykkes
- utnytte nasjonal kompetanse innen alternativ energi og olje/gass
- organisering og tilstrekkelig volum som sannsynliggjør at man lykkes
- miljøteknologi for å følge opp Norges internasjonale forpliktelser
- kostnadseffektiv medisinsk teknologi.

Med utgangspunkt i dette ble det satt av 2 milliarder kroner pr. år til hvert av de tre prioriterte områdene helse-, energi- og miljøteknologi. Tilsvarende beløp ble satt av til relevant grunnforskning, men uten at denne fikk noen klare bindinger. Avkastningen fra oljefondet samt inntektene fra oljeproduksjonen ble brukt til å finansiere de nye satsingene.

I 2007 ble det bygget opp en profesjonell organisasjon for hvert av de prioriterte feltene, med ledelse fra næringslivet. Nye forskningsparker tilpasset behovene innenfor de ulike forskningsfeltene, ble bygget opp. Det ble satset på de beste norske forskerne samt en betydelig internasjonal rekruttering. Den statlige venturekapitalordningen ble lagt inn under de ulike forskningsadministrasjonene for å stimulere gründervirksomhet.



Hoftekule av biokompatible materialer.



Smarte tekstiler overvåker kroppen

Foto: SINTEF

I 2008 vedtok Stortinget en rekrutteringsplan – rettet mot skolen i vid forstand. Konkurransen om nye og gode studenter var hard, men nanoteknologi og materialfeltet greide å skape nysgjerrighet fordi mediebildet hovedsakelig fremstilte nanoteknologi og nye materialer som en kul bransje. Tidligere var det utforskningen av verdensrommet som åpnet dørene til realfagene, nå er det nanoteknologi og det fascinerende nanokosmos som tenner interessen hos ungdommen. Staten satset også mye på opplysning og folkelig opplæring innenfor vitenskap og teknologi. I 2009 var Forskningsparkene ferdig bygd og fullt utstyrt.

Etter 2012 kom de første store kommersielle resultatene av forskningen. Felles for de første gjennombruddene var at de bygde på kompetanse fra fagmiljøer som allerede hadde etablert forskningsaktivitet innen området før offensiven ble satt inn i 2006. Nye nanoteknologibaserte sensorer ble satt inn i industrielle anvendelser. Allerede i 2013 ble det produsert flere typer helt nye sensorer med stort kommersielt potensial basert på den norske grunnforskningen, som nå lå på topp i verden. To

år senere hadde Norge fått tre nye levedyktige bedrifter innen dette området.

I 2015 kom et gjennombrudd innen integrering av biosensorer etter grunnleggende oppdagelser i forskningsmiljøene. Disse sensorene kan måle og diagnostisere alvorlige sykdommer lokalt i kroppen. I 2020 har dette lagt grunnlaget for en ny industri i Norge.

Denne raske suksessen og andre tilsvarende kan tilskrives en særdeles rask overføring av resultater fra grunnforskning til lønnsomme produkter takket være Norges strategiske satsing på utvalgte områder fulgt av tilstrekkelig med midler til både grunnforskning og påfølgende kommersialisering.

Olgas helsetrøye

SmartWear bruker intelligente materialer og biomedisinske sensorer for pasientovervåking. Myke sensorer innvevd i HelseTrøyen, overvåker helsestatusen til Olga (99) på Sunnmøre. Hun føler seg trygg, for hun vet at AMK-sentralen kommer med en gang hvis hun faller eller får hjerteproblemer. Data overføres også kontinuerlig til Olgas barn og barnebarn i Oslo.

HelseTrøyen måler respirasjon, EKG, blodtykk, hjertefrekvens, posisjon og bevegelser. Trøyens faseendingsmateriale tilfører automatisk varme til Olga hvis det blir kaldt. Om sommeren er trøyen kjølig og sval.

Fra vugge til vugge

Styremøte i Material ASA 2020

3D-prosjektoren er klar for å kjøre en virtuell tur verden rundt. Konsernsjef Hans Hansen er spent. I dagens styremøte skal han legge frem den nye investeringsplanen til 10 milliarder kroner. Men han er sikker i sin sak:

Investering i «Grønne lunger» med utvikling av nye produkter og produksjonsanlegg der alt er designet fra vugge til vugge, vil gi en pen avkastning.

Hansen oppsummerer: Energi- og miljøkrisen har skapt etterspørsel etter dramatisk bedre utnyttelse av ressursene. Forbrukerne er svært miljøbevisste og krever produkter som bruker lite energi, og der hver eneste komponent er gjenvinnbar.

Politikerne presser på, og nye strengere lover er på trappene. Dette kan vi som industrikonsern utnytte.

Ved å kjøpe inn de beste designmiljøene nå og bruke dem til å utvikle produkter og prosesser for vugge til vugge-produkter, får vi et forsprang. Vi utnytter vår sterke kompetanse på lettmetaller og kompositter og slår den sammen med ny kompetanse på trefiber. I vår intensjonsavtale med skogeierne sikrer vi oss råstoff til nye materialer samtidig som vi har en avtaker av avfallet fra fabrikkene, spesielt CO₂. De grønne lungene vil være en gavepakke til regjeringen som kan vise at den gjør noe. Vi kan vente oss milliardbeløp i støtte.

Hovedpunkter i scenariet

- *Samfunnet.* Global knapphet på energi- og materialressurser. Økologiske kriser. Velstandsvekst i Sørøst-Asia, Sør-Amerika og Øst-Europa og stagnasjon i Vest-Europa og USA. Internasjonale materialbørser for brukte materialer.
- *Industrien.* Norge er fortsatt en ledende produsent av lettmetaller, silisium og polymerer. Kretsløpsøkonomien har fått gjennomslag. Avfall er en viktig ressurs. Trevirke har fått et oppsving som materiale i nye anvendelser. Samarbeid med landbruket om «Grønne lunger» der industriens CO₂ brukes til plantenæring.
- *Forskningen.* Søkelys på design, prosess og produksjon ut fra et livsløps- og gjenbruksperspektiv. Sterke forskningsmiljøer innen «Det lukkede kretsløp» og funksjonelle materialer for bedre energieffektivitet
- *Forbrukerne.* Opptatt av miljøkrise og krever politiske vedtak om å satse på kretsløpssamfunnet. Målet er at 95 prosent av alle materialer som benyttes i samfunnet, resirkuleres til høyverdige råmaterialer og at 90 prosent av all energi kommer fra fornybare kilder.

Situasjonsbeskrivelse 2020

Kretsløpsøkonomien har slått gjennom internasjonalt. Norge har sammen med sentrale EU-land utviklet økonomiske modeller som gir insentiver til økt material- og energieffektivitet. Resirkulering har økt i omfang, og er vanlig i land hvor dette var en helt fremmed tanke rundt tusenårsskiftet.

Ressursforvaltningen er koblet tett opp mot den økonomiske politikken. Kretsløps-

samfunnet er en overordnet visjon for den økonomiske utviklingen. Regjeringen fastsatte i 2009 et mål om fem ganger forbedring av miljø- og ressurseffektiviteten i samfunnet i 2020 i forhold til år 2000, og dette er mer enn innfridd gjennom nye produkter, nye tjenester og ikke minst ny forbrukeratferd. Ressurseffektivitet er tema i alle deler av utdanningen, fra barnehage

til universitet.

Effektiv håndtering av avfallsressurser er et viktig konkurranseelement. Det er utviklet en lang rekke nye produkter og tjenester innenfor gjenvinningssektoren, som i 2020 står for nærmere 20 prosent av verdiskapingen i Norge.

Internasjonale materialbørser for avfallsprodukter til gjenvinning og vareproduksjon sørger for et effektivt marked. Materialkvaliteter som ikke lar seg resirkulere, blir faset ut.

Samfunnet prioriterer bruk av lokale materialressurser, fornybare biomaterialer og gjenbruk av lokalt materialavfall. Dette bryter sterkt med den tradisjonelle globale arbeidsdelingen med lange transporter av gods, men enkelte pilotsamfunn viser at det går an å leve med nye løsninger. Firmaer som kan levere totalsystemer for en slik utvikling, er i ferd med å etableres.

Økt oppmerksomhet om naturbaserte materialer og fornybare ressurser har gitt ny optimisme i skognæringen. Skogbruk er en bransje med høy lønnsomhet, både fordi alle ressursene i treet utnyttes godt, og fordi det er gode priser på tømmeret. Kvalitet og gamle håndverkstradisjoner er viktige elementer i forhold til både turisme og anvendelse i produkter som er tilpasset tidens krav. Tre har fått renessanse som materiale for et bredere spekter av produkter.

Utviklingen i WTO og EU med reduserte overføringer til landbruket og krav om økologiske driftsformer, tvang i 2010 frem en omlegging av norsk landbruk. En rekke gårdsbruk la om driften til produksjon av biomaterialer og biobrensel. Materialprodusenter, materialteknologer, bioteknologer og landbruksnæringen

*Brukt emballasje inn,
nye produkter ut.
Fotomontasje: Tomra*



spiller sammen om å utvikle kommersielle metoder for å utnytte ulike avfalls- og forurensingsstoffer, inkl. CO₂. I «grønne lunges» brukes avfallsstoffene til fremstilling av planteernæring. Restvarme og restprodukter fra materialindustrien gir CO₂, næring og varme for produksjon av dyrefôr, næringsmidler, biomaterialer og biobrensel. Det ble også mulig å gjenvinne karbon til gjenbruk som reduksjonsmiddel i aluminiumfremstilling.

De grønne lungene og annen norsk satsing på miljøvennlig produksjon og forbruk bidro til at norskproduserte råvarer som aluminium og ferrolegeringer fikk en markant positiv miljøprofil som markedene setter pris på. Dette bidro til at Norge opprettholdt sin ledende posisjon som materialprodusent i et stadig mer miljøbevisst Europa.

Situasjonen knyttet til ulike typer materialer og nanoteknologi

• *Viktige materialanvendelser i samfunnet:* Materialdatabaser for alle aktuelle materialer og deres fremstillingsprosesser og designer er tilgjengelige i globale nettverk. Resultatene fra forskningssentra verden over lastes inn kontinuerlig, og kan raskt tas i bruk av bedrifter og produktutviklere, også i utkantstrøk.

Etter at nye standarder for miljødeklarasjoner ble vedtatt i 2006, har alle store industriselskaper måttet forholde seg til krav om åpen informasjon om miljø- og

SCENARIO 3: Fra vugge til vugge

Muligheter for norsk næringsliv

Transport og mobilitet: Lokal transport er mye viktigere enn langtransport. Nye energibærere øker i omfang, og kjøretøyene konstrueres med tanke på høy grad av gjenvinning iht. internasjonale standarder og gjenvinningssystemer. Den norske leverandørindustrien er en sterk aktør i bilindustrien.

Produksjon og produkter: Produkter basert på norske, bærekraftige råvarer fra skog, landbruk, aluminium og plast. Designerne og bedriftene setter søkelyset på å skape produkter hvor materialene enten går i rene tekniske kretsløp eller i biologiske

kretsløp. Norge har funnet en nisje der produkter basert på trefiber, øker.

Nanoteknologi brukes for å lette sporbarheten til materialer og komponenter.

Helse, velferd og livsstil: Ny teknologi gjør det mulig for enkelthusholdninger eller nabo-/bydels-allianser å produsere sine egne næringsstoffer og gjenbrukbare materialer av eget avfall.

«Personlige resirkuleringsmaskiner» er kommet på markedet. Putt brukt plastemballasje inn og få et nytt emballasjeprodukt ut når du trenger det.

ressursforhold ved deres produkter. Norske bedrifter var tidlig ute med å miljødeklarerer sine produkter, og da de gamle «kartellene» med beskyttede bransjedata sprakk i 2010, hadde norske bedrifter et fortrinn med å være tidlig ute med miljøinformasjon til krevende kunder. Miljødeklarasjonene har både skapt grunnlag for konkurranse om levering av de mest miljø- og ressurseffektive løsningene.

• *Produksjon og resirkulering av tradisjonelle materialer:* Norge er fortsatt en ledende produsent av aluminium, ferrolegeringer, silisium og polymerer, men en vesentlig større andel av råvarene stammer fra avfallsressurser. Norsk industri ligger helt i front når det gjelder utvikling og bruk av teknologi for effektiv gjenkjenning, sor-

tering og gjenvinning av materialene.

Materialenes sammensetning, prosesser og produkter er blitt tilpasset gjentatte kretsløp med minimum behov for tilførsel av jomfruelig materiale. Ikke-fornybare materialer, metaller, keramer, samt polymerer basert på fossilt råstoff, kan derfor resirkuleres og gjenbrukes mye lengre og på høyere nivå enn i 2005.

Norsk lettmetallindustri har hatt stor suksess med nye legeringer som er robuste i flere livssykluser. Ferrolegeringsindustrien har styrket sin konkurransevne med skreddersydde legeringselementer som forbedrer egenskapene til nye høyfaste stål basert på resirkulert materiale

Produksjonen av naturbaserte materialer er stadig økende. Biomaterialer brukes sammen med andre materialer som plast, til konstruksjonsmaterialer.

• *Produksjon og bruk av nye materialer og nanomaterialer:* Norge var tidlig ute med å sikre at viktig miljø- og helseinformasjon knyttet til nye nanomaterialer ble integrert i miljødeklarasjonene.



Ressurser for nye produkter:

Foto: Tomra

Norge er ledende innen sporbarhet av materialer og komponenter. Norske bedrifter har utviklet løsninger basert på integrerte brikker og sensorer basert på nanoteknologi.

Knoppskyting fra norske forskningsmiljøer, førte til etablering av en rekke nye, forskningsbaserte små og mellomstore bedrifter innen dette området.

• *Materialforedling, vareproduksjon og fabrikasjon og gjenbruk:* Norske designere og produktutviklere har en holistisk og strategisk tilnærming til design som er internasjonalt anerkjent. Produkter ses i større perspektiv allerede i planleggingsprosessen.

Norske forskningsmiljøer er verdensledende på metodikk i «design for virkelige behov».

Studier på mastergradsnivå tiltrekker seg studenter fra hele verden, og norske lærekrefter underviser på universiteter i andre land. Produktdesignerne integrerer livsløpstankegang, bruk av miljøriktige materialer og kretsløp/resirkulering (vugge til vugge). De utvikler produkter basert på norske bærekraftige råvarer fra skog, landbruk, aluminium og plast.

Komposteringsanlegg er utbygd i stor skala slik at ressursene tilbakeføres til landbruk, skogbruk og private. Emballasje lages i stadig større utstrekning i biologisk nedbrytbare og komposterbare materialer, basert på råstoffer dyrket og produsert i Norge.

Norsk materialforedling er i 2020 blant de mest energieffektive i verden, med høy andel gjenvunnet materiale og effektive foredlingsprosesser. Koblingen mellom energiforskning og materialforskning i norske forskningsmiljøer fra 2007 har resultert i helt nye prosesser for materialforedling.

• *Situasjonen innen materialforskning:* Materialforskningen har fått en ny profil. Analyse, design, materialer, prosesser og produkter i et livsløps- og gjenbruksperspektiv har skapt nye forskningsteam og ny industriell virksomhet. Kravene til miljø- og ressurseffektivitet har gitt nye utfordringer og muligheter for norsk materialteknologisk forskning:

- Realisering av lukkede materialkretsløp er mye sterkere fokusert etter bevisst satsing fra industri, myndigheter og Forskningsrådet.
- Forskning på funksjonelle materialer gir høyere energieffektivitet i transportsektoren og i bygg.
- Materialelegenskaper som sikrer gjenvinning og høy funksjonalitet.
- Foredlingsprosesser som er vesentlig mer energieffektive.
- Metoder og instrumenter for gjenkjenning og effektiv sortering.
- Systemer for effektiv innsamling og omprosessering av brukte materialer.
- Kraftig reduksjon i energiforbruket i materialframstillingen.

Sentrale hendelser frem til 2020

Veksten i den globale økonomien, og spesielt utviklingen i Sørøst-Asia, førte i 2010 til en global mangel på flere viktige material- og energiresurser, og dermed svært høye priser på viktige materialer. WTO erkjente at med en global vekstrate i forbruk av ikke-fornybare materialkilder på 3–5 prosent pr. år, vil ressursene av råstoff være oppbrukt i løpet av de neste 100 år.

Ren og frisk teknologi fra nord

Næringsdepartementet laget i 2005 en strategi for å samle norsk verdiskaping under én visjon. MiljøInnovasjon er katalysatoren som samler landet i en kraftanstrengelse til å bli 10 ganger mer ressurseffektive og dermed 10 ganger mer konkurransedyktige.

Den globale ressurs- og miljøsituasjonen krever nye løsninger. Smarte materialer som muliggjør 99 % kretsløpslukking og fjerning av kjente giftstoffer, ga norsk suksess på verdensmarkedet.

SCENARIO 3: Fra vugge til vugge

Intelligente hybridbiler

Hybridbiler har tatt over. Miljøkrav har ført til biler med «nullutslipp» ved kjøring i tett befolkede områder. Knapphet på olje har ført til flere gassdrevne biler. Hybridbilene er «smarte» og kan optimalisere transporten. Materialbruken i biler har ført til nye muligheter for resirkulering og gjenbruk.

G10-møtet i 2010 (inkluderer India og Kina) erkjente den globale ressurskrisen og behovet for omfattende klimatiltak.

Oljeprisen steg mot 150 \$ fatet frem mot 2015, for så å synke dramatisk da effekten av de nye globale tiltakene slo gjennom.

Folk i hele verden tok etter hvert inn over seg miljøkrise og ressursknapphet, og behovet for endringer. Kretsløpssamfunnet la grunnlaget for lønnsomme innovasjoner innenfor ressurseffektive produkter og løsninger.

Økologiske kriser og ressursknapphet forsterket flyktningstrømmene i verden, og den totale usikkerheten og sårbarheten økte frem mot 2015. Da var endelig verdenssamfunnet modent til å gjennomføre tiltakene for redusert press på miljø og ressurser som var vedtatt på G10-møtene fra 2010 til 2015. De hadde til da ikke gitt ønskede resultater.

Verdensøkonomien ble utjevnet som følge av velstandsvekst i Sørøst-Asia, Sør-Amerika og Øst-Europa, samtidig med stagnasjon i gamle EU og USA. Det ble mindre lønnsomt å flytte produksjon til land med lavere lønninger. I stedet ble søkelyset rettet mot andre konkurranseparametre, spesielt miljø- og ressurseffektivitet.

I 2015 ble den første «Nobelprisen i kretsløpsøkonomi» tildelt.

Den globale knappheten på energi- og materialressurser tvang fra 2010 frem en gjennomgripende omstilling av hele det norske samfunnet.

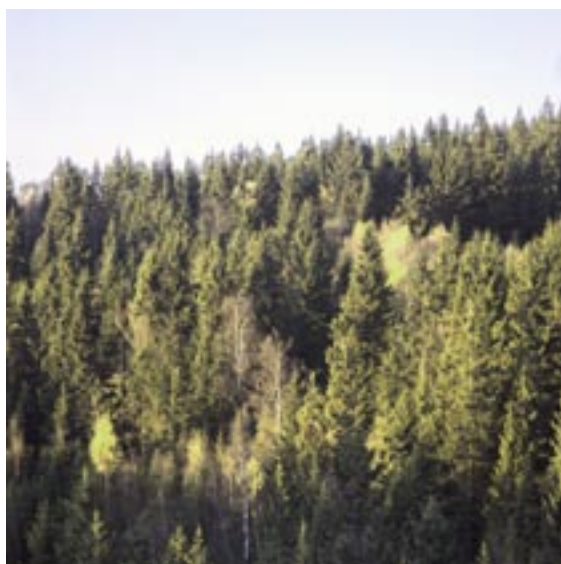
Etter noen år med dramatisk nedgang i tilgang på og prisøkning på enkelte råvarer og energi, erkjente norske politikere som et av de første landene at den eneste løsningen for en bærekraftig utvikling var «kretsløpssamfunnet», der ethvert produkt som produseres er basert på resirkulert materiale, eller et fornybart materiale (biomateriale).

Stortinget vedtok en ny politikk for et ressurseffektivt kretsløpssamfunn basert på nye økonomiske modeller. Etter stortingsvalget i 2009 ble det etablert et nytt departement som erstatter miljø-, nærings- og finansdepartementene med totalansvar for å iverksette Norges nye industri- og ressurspolitikk.

Norsk industri var tidlig ute med å se muligheter knyttet til fortrinn på energi- og ressursiden, og styrket FoU-innsatsen kraftig.

En prototyp for «grønn lunge» ble i 2015 bygd på Sunndalsøra. Varme, CO₂ og andre utslipp fra elektrolysecellene for aluminiumproduksjon ble til næringsstoffer for algeproduksjon. En ny type mikroalger kunne ta opp store mengder CO₂. Karbonet ble gjenvunnet for produksjon av anoder.

Interesse og bevissthet rundt kretsløpssamfunnet fikk et stort oppsving, og gode konstruktive samfunnsdebatter mellom politikere, industri, akademia og lekfolk preger samfunnet.



*Grønne lunger for miljøvennlig industri.
Foto: Atle Abelsen*

Dialog om materialer til BAE-næringen frem mot 2020

Bygg, anlegg og eiendomsforvaltning (BAE) er av så stor betydning for det norske samfunnet at det var naturlig å gjennomføre en egen scenario-prosess for næringen, og koble resultatene til Avanserte materialer Norge 2020 gjennom en dialogprosess. Representanter fra FoU-miljøer, produsenter, importører og brukere (byggheier, arkitekter) møttes i to samlinger og utviklet fire scenarier for materialbruk i 2020:

IKEA i BAE – Det industrielle fremtidsbilde viser hvordan lav levestandard og ressursknapphet gir økende urban fortetting. Internasjonale BAE-aktører og myndighetene styrer utviklingen. Dokumentasjon og minimalistiske, effektive, fleksible og billige løsninger er stikkord. Den vanligste byggemetoden er industrielle, standardiserte modulkomponenter med kombinasjoner av tradisjonelle og nye materialer.

Funksjonalia – Det velfungerende BAE-marked beskriver et velstandssamfunn hvor krevende brukere styrer utviklingen i et godt samspill med næringen. Det er få barrierer mot innovasjon. Mye bygges med åpne modulære «Lego»-systemer, ofte med optimaliserte løsninger for energibruk. Det anvendes avanserte løsninger av tre, stål, aluminium og betong, gjerne i samvirke med fiber/polymerkompositter. Veibelegg får 15–20 års levetid.

I Grønt scenario tas klimatrusselen alvorlig. Myndighetene styrer ved forskrifter og «vugge til grav»-materialsertifikater. Ny, «grønn» teknologi er utviklet for tre og betong. Stikkord er tre forsterket med naturfiber/biopolymerkompositter, sement med nanosilikater for å styre vanninntrenging og metaller med effektivt gjenbruk. Fasader og lysåpninger har funksjonelle nanobelegg som styrer energitilgang og lys.

Ressurskrise – kaos er et bilde der energi- og oljeknapphet, nedbygde handelshindre og omfordeling av økonomisk makt globalt, har gitt materialknapphet. Rehabilitering av infrastrukturen og tiltak for nullenergibygging er mål for ressursøkonomien. Vanlig byggemetode er industrielt tilvirkede moduler i tre, hvor plater, limtre og fiber/polymerforsterkninger er kombinert. Betong har maksimal innblanding av overskuddskomponenter fra annen industri.

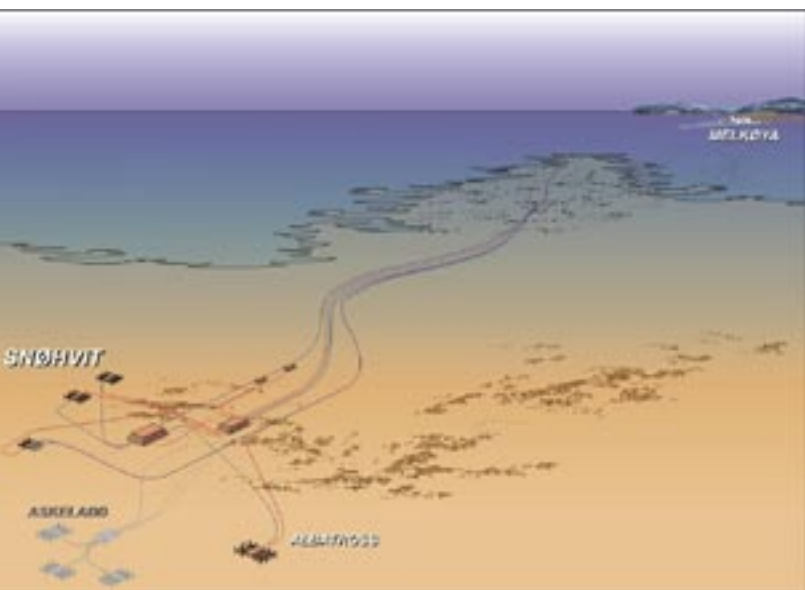


Konklusjoner etter scenariene og strategiske anbefalinger mot 2020:

Fellestrekk i scenariene er utvikling mot modulbaserte industrielle byggemetoder, hvor energibesparende og «grønne» løsninger er viktige. Dette betyr mer avansert materialbruk og behov for høyere kvalitet og kompetanse. Satsing på FoU innen byggematerialer bør prioriteres etter følgende liste:

- Utnytte fornyelsespotensialene i material- og konstruksjonsteknologien for tre og betong, (ev. steinmaterialer) ved å styrke gode FoU-miljøer i næringen og konsentrere FoU-institusjonenes ressurser. Tilse at dette foregår i nærkontakt med ledende internasjonal forskning, spesielt innen nanoteknologi, og med annen nasjonal materialforskning.
- Legge til rette for at FoU-resultater for aluminium og polymer/fiberkompositter kan implementeres i byggemarkedet.
- Stimulere norske produsenter av andre byggematerialer som har nye ideer til materialbruk og sammensetninger.
- Utvikle avanserte prøvemetoder for byggematerialer som ikke produseres nasjonalt, hvor funksjonstesting, samvirke med andre materialer og teknologioverføring er viktige mål.

Dialog om materialer i olje- og gassektoren frem mot 2020



Undervannsanlegg i Arktis blir en materialutfordring. Ill: Statoil

Det strategiske initiativet OG21 (Olje og gass i det 21. århundre) og Forskningsrådets store program PETROMAKS (Program for maksimal utnyttelse av petroleumsreservene) gjennomførte sine egne strategiprosesser, der materialteknologi inngikk. Materialer knyttet til olje- og gassektoren ble derfor ikke behandlet som et separat tema i «Avanserte materialer Norge 2020». Samordningen av strategiprosessene med dette prosjektet ble ivaretatt gjennom en dialog mellom de involverte saksbehandlerne i Forskningsrådet.

I et eget møte gjennomgikk representanter fra næringslivet de materialtekniske utfordringene som olje- og gassindustrien i Norge står overfor i årene som kommer, mens representanter for forskningsmiljøene la frem sitt syn på hvordan forskning kan bidra til å løse utfordringene, og hva de norske forskningsmiljøene kan bidra med.

Mange av utfordringene som petroleumsindustrien i Norge står overfor, stiller store materialtekniske krav:

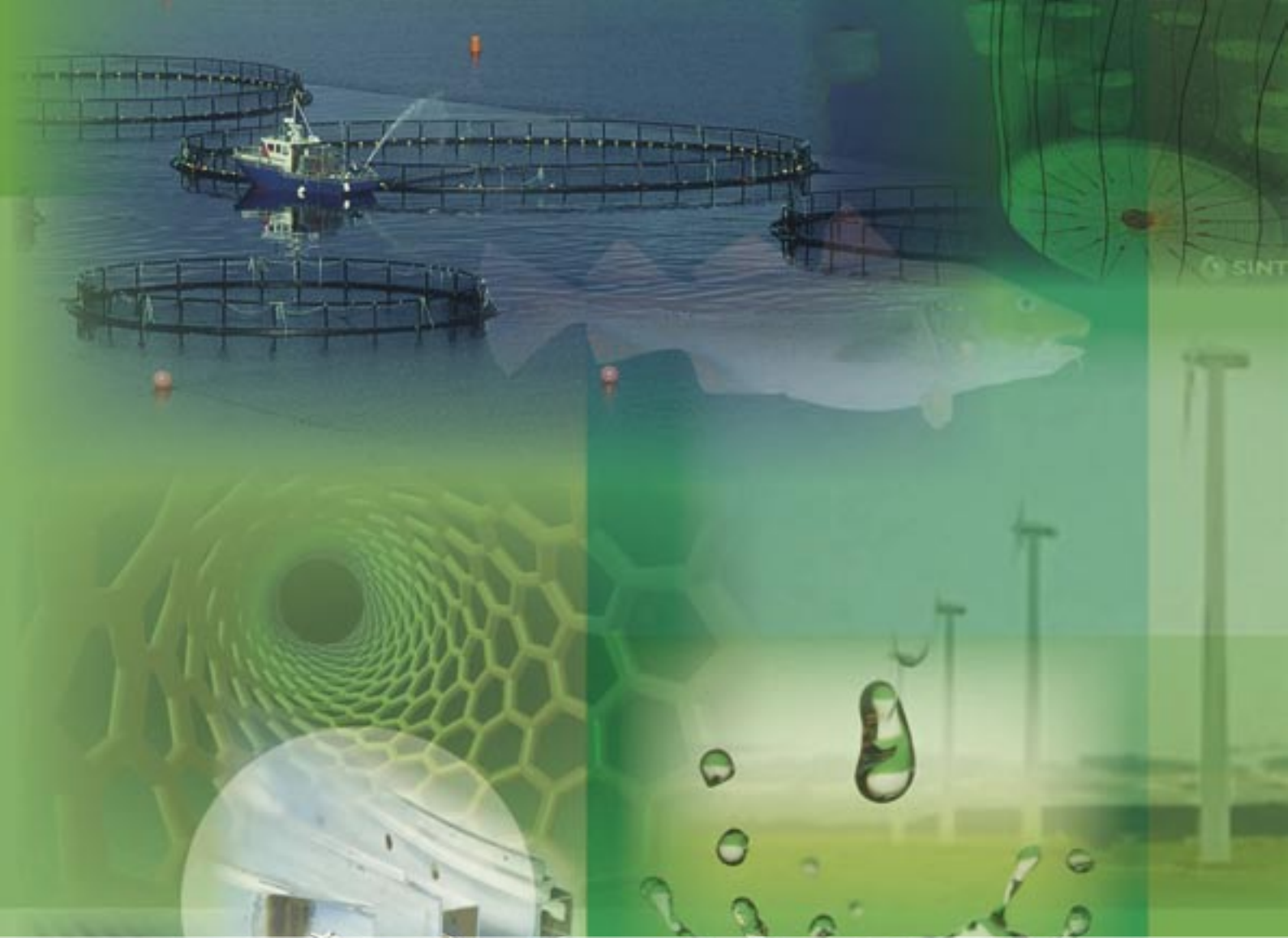
- Boring, installasjon og drift av anlegg under is, i deler av året eller permanent.
- Vedlikehold og overvåking under vanskelige værforhold, lave temperaturer, store dyp og utilgjengelig beliggenhet.

- Innvirkning av lave temperaturer og store temperaturvariasjoner på land og i sjø på de mekaniske egenskapene til konstruksjonsstål og andre materialer, samt på maling og andre typer belegg.
- Lave sjøvannstemperaturer i arktiske områder som stiller nye krav til kriteriene for katodisk beskyttelse og dimensjonering av beskyttelsessystemer.
- Høye nedihullstemperaturer ($\sim 180\text{ }^{\circ}\text{C}$) og trykk med økte krav til bestandighet og pålitelighet av kontroll- og sikkerhetssystemer.

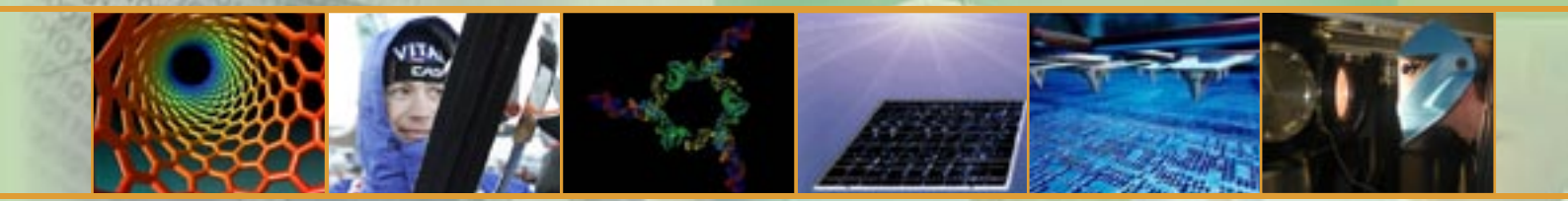
Blant operatørselskapenes hovedprioriteringer knyttet til disse utfordringene, er materialer for undervannssystemer og undervannspeser-anlegg, instrumentering av brønner; stigerør og stigerørstårn inkl. komposittstigerør; avansert bruk av stål, hydrogeninntrenging i materialer samt korrosjon og beleggteknologi.

Flere av disse temaene har også stor betydning for leverandørindustrien. I tillegg kan nevnes tema som bruk av komposittmaterialer for å spare vekt og unngå korrosjonsskader; utvikling av bedre materialer for termisk isolasjon og oppdrift for dypt vann og høye nedihullstemperaturer; forbedret korrosjonskontroll av rørledninger for transport av uprosessert olje; utvikling av sensorer og instrumentering med forbedret nøyaktighet og levetid og utvikling av beleggsystemer (maling) for bruk på undervannsrør ved høye temperaturer ($150\text{--}170\text{ }^{\circ}\text{C}$).

De norske materialteknologiske FoU-miljøene har høy kompetanse, lang erfaring, gode laboratoriefasiliteter og gode kunderelasjoner innen offshorerelatert FoU. Både Statoil og Hydro benytter disse miljøene i stor grad i sine utviklingsprosjekter i tillegg til sine egne forskningsavdelinger. Til flere av disse prosjektene er det tilknyttet doktorgradsstipendiater. Oljeindustrien ser imidlertid med bekymring på det meget lave antall studenter som tar materialteknologi som hovedfag ved NTNU, og frykter både forfall i kompetanse og mangel på høyt kvalifisert personell i fremtiden.



Strategiske anbefalinger og prioriteringer



Strategiske anbefalinger

Forskningsmeldingen «Vilje til forskning» som Stortinget godkjente i juni 2005, har som mål at norsk forskningsinnsats i 2010 skal være på 3 prosent av BNP. Det forutsetter at næringslivet fordobler sin egen forskning til 2 prosent av BNP. I meldingen er nanoteknologi og nye materialer sammen med bioteknologi og IKT pekt ut som teknologiområder det skal satses spesielt på. Dersom visjonen om at Norge i 2020 skal være en innovativ bruker og produsent av materialer skal kunne realiseres, er det viktig med økt forskningsinnsats både innenfor tradisjonelle materialer og innen nanoteknologi og nye materialer.

Prosjektet «Avanserte materialer Norge 2020» viser tydelig at materialteknologi har stor betydning for verdiskapingen i norsk næringsliv og offentlig sektor, og det er store forventninger til at dette også skal gjelde nanoteknologi i nær fremtid. Gjennom en bred dialog har representanter fra norsk næringsliv, forskningsmiljøer og forvaltning utarbeidet tre ulike fornyelses-scenarier for Norge i 2020, der kunnskap og forskning innenfor material- og nanoteknologi står sentralt for å skape et nytt, kunnskapsbasert næringsliv.

Material- og nanoteknologi er en av nøklene til at «Norge skal bli en nasjon som ligger i teten internasjonalt når det gjelder teknologi, kompetanse og kunnskap», som er målet i Forsk-

ningsmeldingen. Materialteknologi er en utløsende teknologi for de fleste andre teknologier og bransjer. Derfor er kunnskap om materialene så vesentlige for alle ledd i verdikjeden fra materialvitenskap til avanserte produkter. Økt tverrfaglighet vil stimulere innovasjonsevnen og gi en høyt utdannet befolkning utfordrende arbeidsoppgaver.

Nanoteknologi åpner helt nye muligheter til å observere og forstå materialene på atomnivå. Denne kunnskapen brukes til å forbedre tradisjonelle materialer og til å lage helt nye. Sammensmeltingen av nanoteknologi, bioteknologi og IKT vil resultere i en strøm av helt nye produkter. USA, EU, Japan og mange andre land bruker milliardbeløp på forskning og utvikling av nanoteknologi. I alle landene er dette en langsiktig strategisk satsing. Forventningene er svært høye til at denne nye teknologien også i Norge vil skape avanserte produkter, spennende arbeidsplasser og høy verdiskaping.

I en stadig mer miljøbevisst verden vil videre livsløps- og gjenbruksperspektiv tvinge seg frem. Kunnskap, kreativ design og produktutvikling må til for å skape produkter som forbrukerne vil ha, og som samtidig kan inngå i et lukket kretsløp. Evnen til tidlig satsing på teknologi for kretsløpssamfunnet kan gi norsk næringsliv et internasjonalt forsprang.

Hovedmål

Prosjektets hovedanbefaling er formulert i følgende hovedmål for Norge i 2020:

Norge skal bli en innovativ bruker og produsent av materialer og bli verdensledende innenfor utvalgte nisjer der vi har naturgitte eller kompetansemessige fortrinn. Økt verdiskaping og spennende arbeidsplasser i eksisterende og nye bedrifter skal baseres på avansert kunnskap om materialer og nanoteknologi.

Mål for Material-Norge i 2020

Material- og vareproduksjon: Norge er en betydelig leverandør av viktige materialer som aluminium, silisium, plast og ferrolegeringer. Kundetilpassede spesialprodukter og kunnskap langs hele verdikjeden gjør denne suksessen mulig. Norsk vareproduserende industri er i verdensklasse på grunn av høy automatiseringsgrad og høyt kunnskapsinnhold i produkter og tjenester. Avansert materialkunnskap og nanoteknologi står sentralt for at man her lykkes.

Transport og mobilitet: Norge har sterke nisjebedrifter som er foretrukne leverandører til internasjonal bil- og transportindustri. Vi har lyktes innenfor områder som lettere konstruksjoner, multimaterialløsninger, økodesign og gjenbruk, sensorer og trafikksikkerhet, Brenselceller og hydrogenteknologi.

Helse, velferd og livsstil: Norge har som et rikt land etablert et unikt helse- og omsorgstilbud for eldre og funksjonshemmede, der andelen hjemmeboende og fornøyde brukere ligger i verdenstoppen. Nye muligheter som nano-, bio-, informasjons- og kommunikasjonsteknologi har åpnet, er tatt i bruk. Dette gir grobunn for en rekke nisjebedrifter.

Energi: Norge er fortsatt en ledende energinasjon. Kunnskap om og evne til å ta i bruk funksjonelle materialer og nanoteknologi har medført at Norge lykkes innenfor fornybar energiteknologi som sol, vind, hydrogen, batterier, Brenselceller og mer miljøvennlig gasskraft.

Bygg og anlegg: Verdiskapingen i BA er i hovedsak basert på videreforedling av norske byggematerialer, der materialenes livløps-egenskaper er en nasjonaløkonomisk faktor.

Olje og gass: Norge ligger helt i front innenfor offshoreteknologi og utbygging og drift av krevende olje- og gassfelt, spesielt basert på undervannsteknologi. Norske leverandører og kompetansemiljøer står meget sterkt internasjonalt og er foretrukne samarbeidspartnere over hele verden. Kunnskap om stål og andre konstruksjonsmaterialer, sikkerhet og vedlikehold, overflateteknologi, sensorer viser seg å være nøkkelen til suksess.

IKT: Norsk mikroteknologiindustri ligger i front i sine nisjer. Integrasjon av avansert materialkunnskap innenfor funksjonelle materialer og nanoteknologi med silisiumteknologi åpner for helt nye produkter med bredt anvendelsespotensial.

Bioteknologi: Norge har internasjonalt anerkjente forskergrupper innenfor bionanoteknologi rettet mot marin og maritim sektor.

Havbruk: Norge er en internasjonalt ledende produsent av oppdrettsfisk og utstyr til oppdrett. Nye sikre, fleksible og miljøvennlige oppdrettsanlegg basert på avansert materialkunnskap og ny teknologi for overvåking, sikrer næringen høy konkurransekraft.

Miljø, resirkulering og gjenbruk: Norge har en lederrolle når det gjelder teknologi for merking og sporing av materialer i et globalt materialkretsløp. Norsk gjenvinnings- og resirkuleringsteknologi er ettertraktet internasjonalt.

Næringsmidler og emballasje: Konkurransedyktigheten til norsk næringsmiddelindustri er styrket gjennom bruk av nye materialer og nanoteknologi både i produksjonsutstyr og emballasje.

Hovedutfordringer for å nå målene

- Det må oppnås en klar erkjennelse i samfunnet av at *materialteknologi og nanoteknologi har en helt avgjørende rolle for velferdsutviklingen og næringslivets konkurransevne, alene eller i samspill med andre teknologiområder.*
- Det må bygges opp og videreutvikles *forsknings- og utdannelsesmiljøer på internasjonalt toppnivå innenfor*
 - nasjonalt viktige materialområder for å sikre nasjonal kunnskapsbase og fornyelse av norsk næringsliv. Dette er avgjørende for materialproduserende industri og sterke norske materialbrukende næringer som olje- og gassektoren, marin og maritim sektor, samt deler av den vareproduserende industri og bygg- og anleggssektoren.
 - utvalgte nisjer av funksjonelle materialer og nanoteknologi som kan gi grunnlag for et nytt materialbasert næringsliv samt kan videreutvikle eksisterende næringsliv.
- Det må etableres *nettverk mellom næringslivet og disse fremragende forsknings- og utdannelsesmiljøene.* Gode nettverk og samarbeidsrelasjoner er avgjørende for å stimulere til utvikling av en skog av avanserte små og mellomstore bedrifter samt videreutvikling av kunnskapsrike materialbedrifter.

FoU-utfordringer og kompetansebehov

Utvalgte nisjer

Områder der kompetanse på internasjonalt toppnivå innenfor utvalgte nisjer må bygges opp og/eller videreutvikles:

- Produksjon, videreforedling og bruk av lettmetaller
- Plast og plastkompositter
- Lukking av materialkretsløp, resirkulering og økodesign
- Materialer for energianvendelser
- Materialer for krevende anvendelser i olje- og gassnæringen
- Nanostrukturerte materialer og overflater
- Materialer for mikroteknologiske anvendelser
- Materialer for katalyse- og membranteknologi

Bredde

Områder der breddekompetanse på et tilstrekkelig høyt nivå må vedlikeholdes og/eller bygges opp:

- Produksjon av ferrolegeringer, silisium, papir og andre materialer samt utvikling av

kundespesifiserte produkter basert på disse

- Bygningsmaterialer der FoU innenfor trebaserte og mineralske materialer står mest sentralt
- Biokompatible, biomimetiske materialer og bio-nanoteknologi
- Funksjonelle materialer til for eksempel elektriske, optiske og magnetiske anvendelser
- Andre materialer som for eksempel keramer, emballasjematerialer og papir

Tverrgående

Områder av stor generisk betydning der tilstrekkelig kvalitet kreves:

- Fundamental materialkunnskap basert på solid kompetanse i de grunnleggende fagene fysikk, kjemi, mekanikk, matematikk, og et bredt teori- og metodegrunnlag
- Verktøy og metoder for materialforskning med modellerings- og simuleringsteknikker, eksperimentelle metoder, og avansert laboratorieutstyr

Forslag til prioriterte tiltak

Nasjonal langsiktig satsing

Etablere en nasjonal, langsiktig forsknings-satsing innenfor nanoteknologi, tradisjonelle materialer, funksjonelle materialer og komplette løsninger.

- Langsiktig, strategisk satsing over en 15–20

års periode.

- Tredobling av den offentlige prosjektfinansieringen fra Forskningsrådet til forskningsfeltet innen 2010, dvs. en økning fra 200 mill. kr. i 2004 til 600 mill. kr. i 2010 og en ytterligere opptrapping frem mot 2020.

- Antall forskerårsverk doubles til ca. 1100 og spesielt universitetssektoren tilgodeses.
- Satsingen må være balansert mellom nye og tradisjonelle materialer og mellom nysgjerrighetsdrevet, strategisk og brukerstyrt forskning.
- Minst 50 prosent av budsjettveksten må være strategiske satsinger der hovedkriteriet for valg av satsinger er naturgitte eller tilegnede fortrinn og fremtidig potensial for verdiskaping.
- Avklare rollefordeling mellom universiteter og forskningsinstitutter ved langsiktige, strategiske, kompetansebyggende satsinger, spesielt i lys av situasjonen i konkurrentland.
- Samordning og samarbeid mellom universiteter og forskningsinstitutter innenfor prioriterte forskningsfelt bør stimuleres. Større, robuste og synlige forskningsmiljøer kan på den måten etableres. Det er viktig at det etableres ordninger som oppfattes som vann-vinn-situasjoner.

Styrke NANOMAT-programmet

- NANOMAT skal være Forskningsrådets hovedsatsing de nærmeste årene innenfor nanoteknologi, funksjonelle og nye materialer.
- NANOMAT må trappes opp til 150 mill. kr. innen 2007 og til 250 mill. kr. i 2010. Programmet må ha en god balanse mellom grunnleggende, strategisk og brukerstyrt forskning. Det må gjøres attraktivt for næringslivet å delta i programmets satsinger.
- Nanostrukturerte materialer og overflater, funksjonelle materialer og nanoteknologi for ny energiteknologi og IKT/mikroteknologi bør være hovedprioriteringene for den grunnleggende forskningen i programmet.
- NANOMAT skal arbeide for nasjonal koordinering av relevant forskning slik at økt kvalitet og tyngde oppnås gjennom samhandling mellom komplementære miljøer.

Nasjonal koordinering

Stimulere til nasjonal koordinering, robuste miljøer og økt internasjonalt samarbeid:

- Utvikle insentivordninger som stimulerer til nasjonal koordinering, sterk forskningsledelse, arbeidsdeling og samarbeid mellom forskergrupper for derigjennom å disponere personal-, utstyr- og infrastrukturensressurser optimalt.
- Investering i, og god utnytting av avansert og dyr infrastruktur krever langsiktighet i finansieringsordningene, tilrettelagt drift og kontinuitet mht. kompetanse, samt økonomisk tilrettelegging slik at næringslivet kan få god tilgang på utstyr og relevant ekspertise.

- Utarbeide nasjonal strategiplan for nanovitenskap og nanoteknologi. Planen må få konsekvenser for prioriteringer og budsjettutvikling både i Forskningsrådet og hos de berørte FoU- institusjonene.

Internasjonalt samarbeid

- Stimulere til økt internasjonalt samarbeid med fokus på samspill mellom sterke, komplementære forskningsmiljøer.

Strategiske allianser

Stimulere til strategiske allianser mellom næringsliv, undervisnings- og forskningsmiljøer for å sikre langsiktig kompetanseutvikling på områder med stort potensial for fremtidig verdiskaping:

- Identifisere og støtte opp om langsiktige kunnskapsbehov innenfor nasjonalt viktige industrielle klynger og næringsområder.
- Vurdere behov for nye strategiske materialorienterte programmer eller satsinger
- Etablere ordninger som gjør det attraktivt for internasjonale bedrifter å samarbeide med norske forskningsmiljøer og legge større deler av sin forskningsaktivitet til Norge.
- Stimulere til samspill mellom kunnskapslokomotiver (materialprodusenter og krevende brukere av materialer) og vareproduserende industri som representerer det kreative mangfold.
- Forskningsrådet bør være en pådriver for etablering av nye og videreutvikling av eksisterende strategiske allianser.

Andre teknologiområder

- Stimulere til samspill med andre

teknologiområder som energiteknologi, bioteknologi, medisinsk teknologi og IKT. Dette er viktig for materialbruk rettet inn mot helse, velferd og livsstil, og er likeledes av betydning for transport, energi-, IKT-, olje- og gasssektorene.

Styrket samfunnsdialog

Det er knyttet flere etiske, helsemessige og miljømessige problemstillinger til nanoteknologi enn til materialteknologi. Diskusjoner omkring et «akseptabelt risikonivå» er fremfor alt et spørsmål om hvilken samfunnsutvikling man ønsker, og hvilken rolle man tror vitenskap og teknologi kan og bør spille i utviklingen. «Føre var-prinsippet» med basis i faktakunnskap må legges til grunn for å håndtere avveiningen mellom gevinst og risiko knyttet til nanoteknologi. Samtidig som norsk nanoteknologisk forskning spisses og utvikles, bør den også utvides slik at:

- nanoteknologiforskningen integreres med analyser av etiske, rettslige og samfunnsmessige sider knyttet til

teknologiutviklingen, samt studier av mulige helse- og miljøeffekter.

- tverrfaglighet, transparens og nye arenaer for offentlig og faglig dialog, nasjonalt og internasjonalt etableres og styrkes.

Bedre koordinering i Forskningsrådet

- Forskningsrådet må ta et strategisk ansvar for kompetanseutviklingen innenfor material- og nanoteknologi sett i relasjon til næringslivets langsiktige behov.
- Det bør opprettes et koordineringsutvalg for material- og nanoteknologi for å koordinere og videreutvikle satsingen innenfor forskningsfeltet, både i nasjonalt og internasjonalt perspektiv.
- Det bør vurderes om det er behov for eget koordinerings- og fagansvar for nanoteknologi alene og ikke direkte kun knyttet opp til materialteknologi. I tillegg vil koordinering av material- og nanoteknologi med IKT og bioteknologi være viktig.

Forutsetninger

De prioriterte tiltakene ovenfor bygger på et forsknings- og innovasjonssystem som fungerer tilfredsstillende. Dette gjelder spesielt:

En velfungerende forskningsallmenning

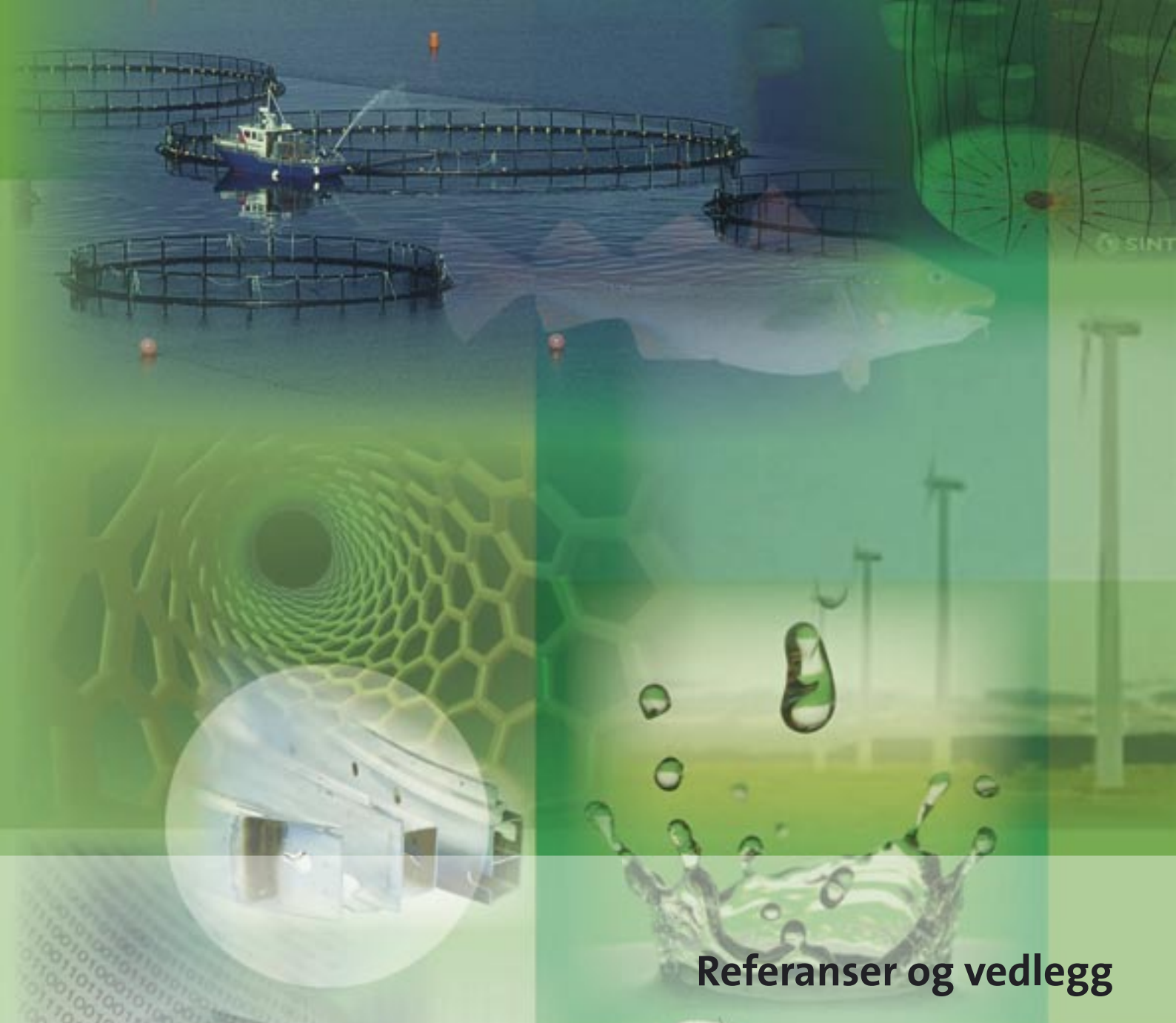
På materialsiden gjelder spesielt:

- Det er viktig å sikre bredde og fornyelse i universitets- og høyskolesektoren og bidra til utvikling av grunnleggende generisk kompetanse innenfor material- og nanoteknologi.
- Forskningsmeldingens plan for å styrke realfag og teknologi må gjennomføres.
- Styrking av nygjerrighetsdrevet forskning innenfor materialteknologi og de underliggende disipliner som kjemi, fysikk og matematikk.
- Oppfølging av fagplaner innenfor ingeniørvitenskap, fysikk, kjemi, og matematikk må prioriteres.
- Divisjon for vitenskap i Forskningsrådet har et særlig ansvar for de nevnte områdene.

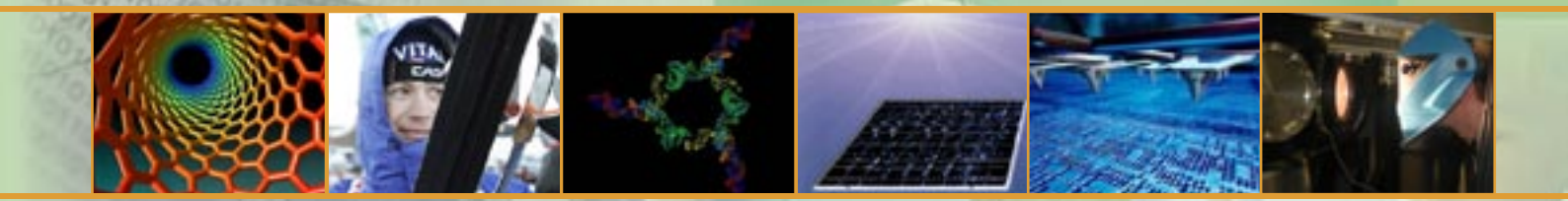
Et velfungerende innovasjonssystem

Det er en forutsetning at Norge har et velfungerende innovasjonssystem, med god tilgang på risikovillig kapital både i såkornfasen og i kommersialiseringsfasen. Dette innebærer at det er et godt samspill mellom offentlige virkemidler, forskningsmiljøene og næringslivet (trippel-helix). På materialsiden gjelder spesielt:

- Bidra til etablering av et aktivt miljø for innovasjon, produktutvikling og markedsføring som fremmer små og mellomstore bedrifter i Norge.
- Stimulere til etablering av tverrfaglige møteplasser der ny kunnskap om nanoteknologi og materialer stimulerer til nyskaping og innovasjon også i samarbeid med eksisterende industri.
- Stimulere til internasjonalt samarbeid, f.eks. gjennom EUs rammeprogrammer, for raskere å komme frem til gode løsninger.



Referanser og vedlegg



Vedleggsrapporter

Foresight-prosjektet har tatt frem et omfattende materiale som er brukt som underlag for slutt-rapporten inkludert de strategiske anbefalingene. Dette materialet publiseres som separate vedleggsrapporter:

- Materialforskning i Norge: Sentrale FoU-miljøer og status og utfordringer knyttet til de enkelte materialer
- Perspektiver på material- og nanoteknologi i olje- og gass-sektoren frem mot 2020
- Perspektiver på material- og nanoteknologi i BA-næringen frem mot 2020
- Avanserte materialer Norge 2020: Metode, prosess og resultater, inklusiv miniscenarier

Referanser

Erik F. Øverland er sitert på side 35. Sitatet er hentet fra rapporten: Avanserte materialer Norge 2020: Metode, prosess og resultater

På kartet side 19 er disse næringene med: Maskiner og utstyr, Transportmidler, Metallvarer, Gummi- og plastprodukter, Tre- og biomaterialvarer, Glass- og keramiske produkter, Elektriske maskiner, Kontor- og datamaskiner, Radio, fjernsyn, elektronikk, Medisinske instrumenter, Møbler, Reiseeffekter og Gjenvinning. Antall ansatte er hentet fra SSBs statistikk for næringsvirksomhet 1. kvartal 2005 statbank.ssb.no/statistikkbanken/

Bibliografi

 (nettløkene ligger også på www.forskningsradet.no/material2020)

European White Book on Fundamental Research in Materials Science 2001:
www.mpg.de/bilderBerichteDokumente/dokumentation/europWhiteBook

EUs 6. rammeprogram. Nanotechnology and nanosciences, knowledge-based multifunctional materials and new production processes and devices (NMP)

www.cordis.lu/nanotechnology

www.cordis.lu/nmp/home.html

EUs 7. rammeprogram.

- Proposals for a Seventh Framework Programme (FP7) for research, 2007–2013, COM (2005) 119 final
- Proposals for FP7 Specific Programmes implementing the Seventh Framework Programme (2007-2013) www.cordis.lu/fp7

European Technology platforms www.cordis.lu/technology-platforms

- Nanoelectronic
- Nanomedicine
- Manufuture

Evalueringer i regi av Norges forskningsråd www.forskningsradet.no

- Kjemi (1997)
- Materialteknologi (1999)
- Fysikk (2000)
- Teknisk-industrielle institutter (2002)
- Ingeniørvitenskap (2004)

Foresight i Norges forskningsråd: www.forskningsradet.no/foresight

Foresight Vehicle Technology Roadmap. Technology and Research Direction for Future Road Vehicles. Society of Motor Manufacturers and Traders (2004). www.foresightvehicle.org.uk

Forskningsmeldingen: Vilje til forskning, Stortingsmelding nr. 20 (2004–2005)
odin.dep.no/filarkiv/241962/PDF-TS020.pdf

Fremstilling og bruk av brukertilpassede polymerer og komposittmaterialer. Forslag til nøkkelområde. Norges forskningsråd (2001).

FUNMAT – en nasjonal plan for forskning innden funksjonelle materialer. (2001):
www.funmat.no

Hydrogen som fremtidens energibærer: NOU 2004:11. Olje- og energidepartementet og Samferdselsdepartementet (2004) odin.dep.no/filarkiv/211298/NOU0404011-TS.pdf

Hydrogenstrategi. Satsing på hydrogen som energibærer innenfor transport og stasjonær energiforsyning. Olje- og energidepartementet og Samferdselsdepartementet. (2005)
odin.dep.no/filarkiv/255413/Hydrogenstrategi.pdf

Industrial Materials for the Future (IMF) R&D Priorities – National Renewable Energy Laboratory, RAND (2001) www.rand.org/publications/DB/DB364

Kunnskap bygger Norge. SINTEF Materialer og kjemi. (2004)

MATERA. Et ERA-NET-prosjekt finansiert av EUs 6. rammeprogram: www.MATERA.fi

Materials: Shaping our Society (UK-foresight 2002):
www.foresight.gov.uk/Previous_Rounds/Foresight_1999_2002/Materials

- Smart materials for the 21st Century
- Fuelling a greener economy
- Priority topics for future biomaterials development
- Functional materials. Future directions.
- Priority topics for future biomaterials development.

Materialteknologi – næringsrettet kompetansefelt. Norges forskningsråd (2001)

McDonough og Braungart: The next industrial revolution (1999) og Cradle to Cradle (2002)
www.mcdonough.com/cradle_to_cradle.htm

Millenium Ecosystem Assessment Synthesis Report (2005):
www.millenniumassessment.org/en/Products.Synthesis.aspx

Mobility 2030: Meeting challenges to sustainability. World Business Council for Sustainable Development (2004): www.wbcd.org

Nano-Bio-Info-Cogno-Socio-Anthro-Philo- HLEG Foresighting the New Technology Wave Converging Technologies – Shaping the Future of European Societies:
europa.eu.int/comm/research/conferences/2004/ntw/pdf/final_report_en.pdf

NANOMAT Programbeskrivelse og programplan. www.NANOMAT.no

NANOMAT-Birkeland-konferansen 2005, Norges forskningsråd (2005)

Nanoscience and Nanotechnology at UiO (2004):
www.funmat.uio.no/StrategiplanNanoteknologi.pdf

Nanoscience and nanotechnologies: An action plan for Europe 2005–2009. Communication for the Commission. ftp://ftp.cordis.lu/pub/nanotechnology/docs/action_plan_brochure.pdf

Nanoscience and nanotechnologies: Opportunities and uncertainties, The Royal Society and The Royal Academy of Engineering (2004): www.nanotec.org.uk/finalReport.htm

Nanotechnology – a Key Technology for the Future of Europe. High Level Expert Group. Key Technologies for Europe. Ottilia Saxl. (2005) www.cordis.lu/foresight

Nanotechnology at NTNU (2003). www.ime.ntnu.no/infosam2020

Nanotechnology in SINTEF – Status report (2004). www.sintef.no

Nanoteknologier og nye materialer: Helse, miljø, etikk og samfunn. Norges forskningsråd, (2005) www.NANOMAT.no

Nasjonal Transportplan 2006–2015. St.meld. nr. 24 (2003–2004). Samferdselsdepartementet (2004).

NNI – The National Nanotechnology Initiative at Five Years, President’s Council of Advisors on Science and Technology, (USA, May 2005) www.nano.gov

NorLight – Nøkkelområde: Videreforedling og bruk av lettmetaller. Norges forskningsråd (2001) www.sintef.no/NorLight

Norge 2020 – Industrielle og økonomiske fremtidsutsikter. G. Sand, P.M. Schiefloe og T.M.B. Aasen: (Fagbokforlaget, 2005).

NTNU NanoLab www.ntnu.no/nanolab

Når naturressurser blir høyteknologi: Reportasjer fra PROSMAT-programmet. Norges forskningsråd. (2000)

Petroleumsforskning lønner seg. Norges Tekniske Vitenskapsakademi (2005).

PROSMAT sluttrapport. Norges forskningsråd (2002) www.forskningsradet.no/prosbio

Senter for Materialvitenskap og nanoteknologi, UiO. www.smn.uio.no/

Svensk Teknisk Framsyn (www.tekniskframsyn.nu):

- Teknisk Framsyn 1999 Material och Materialflöden – utmaningar och möjligheter: www.dimea.se/customers/tfOld/old
- Oppdatering 2003: [composit.dimea.se/filebank/files20040507\\$094856\\$fil\\$5uoIW2vD09B6n43j3mT.pdf](http://composit.dimea.se/filebank/files20040507$094856$fil$5uoIW2vD09B6n43j3mT.pdf)

Technology Foresight in the Nordic Countries (2002): www.risoe.dk/rispubl/sys/syspdf/ris-r-1362.pdf

Teknologisk fremsyn om dansk nanovidenskap og nanoteknologi (2004): www.teknologiskfremsyn.dk/29

Towards a European strategy for nanotechnology – Communication from the Commission (2004). ftp://ftp.cordis.lu/pub/nanotechnology/docs/nano_com_en_new.pdf

Deltakere i prosjektet Avanserte materialer Norge 2020

Prosjektgruppen

Spesialrådgiver Astrid Brenna (prosjektleder)	Norges forskningsråd/Satsinger/Innovasjon
Professor Helmer Fjellvåg	UiO, Senter for materialvitenskap og nanoteknologi
Professor Jan Petter Hansen	Universitetet i Bergen, Fysisk institutt
Rådgiver Aase Hundere	Norges forskningsråd/Vitenskap/Satsinger
Programkoordinator Dag Høvik	Norges forskningsråd/Satsinger
Spesialrådgiver Dag Kavlie	Norges forskningsråd/Innovasjon
Industridesigner Kjersti Kviseth	kk design
Programrådgiver Hjalmar Sigurdsson	Norges forskningsråd/Innovasjon
Forskningsdirektør Aage Stori	SINTEF Materialer og kjemi
Professor Sigurd Støren	NTNU, Inst. for produktutvikling og materialer
Direktør Ellen D. Tuseth	Norspace AS
Spesialrådgiver Ellen Veie	Norges forskningsråd/Satsinger
Forskningsjef Håkon Westengen	Hydro Competence Center
Spesialrådgiver Lars A. Ødegaard	Norges forskningsråd/Satsinger
Spesialrådgiver Erik F. Øverland	Norges forskningsråd/Satsinger

Andre deltakere

Avdelingsdirektør Christina Abildgaard	Norges forskningsråd/Satsinger
Konsulent Hilde Albech	Norges forskningsråd/Satsinger
Seniorrådgiver Aud Alming	Norges forskningsråd/Innovasjon
Seniorforsker Inger Andresen	SINTEF Teknologi og samfunn
Direktør Hilde Angelfoss	Stokke AS
Student Ava Avibeck	TIK (UiO)
RND Manager Leif Torgersen Axell	Swix
Seksjonsleder Michel Baltzersen	Norconsult AS
Sivilingeniør Lise Bathen	Veidekke AS
Nanostrateg Terje Berg	Cientifica Ltd
Professor Stig Berge	NTNU
Research Director Ralph W. Bernstein	SINTEF ICT
Forsker Peter Blom	NBI
Professor Martin Brandl	Universitetet i Tromsø
Seniorforsker Hendrik W. Brinks	IFE
Forskningsjef Stig Brusethaug	Hydro Aluminium Sunndalsøra
Adm.dir. Hans J. Bugge	Tele Textiles AS
Adm.dir. Jostein B. Bårdsen	NTI
Adm.dir. Bruno Ceccaroli	n-TEC, REC
Sjefsforsker Ivar M. Dahl	SINTEF Prosesskjemi
Spesialrådgiver Gunhild A. Dalen	SPIN/Matforsk
Senior Engineer Andreas Echtermeyer	DNV Research
Sivilingeniør Hans Kristian Eig	Forestia AS
Avdelingsdirektør Egil Eike	Norges forskningsråd/Innovasjon
Professor Mari Ann Einarsrud	NTNU, Institutt for materialteknologi
Senior rådgiver Christoffer Ellingsen	Medinnova AS
Ass. professor Rune Fensli	Høgskolen i Agder
Tekn.sjef, Prof. II Per Fidjestøl	Elkem AS

Professor Terje Finstad	Universitetet i Oslo
Konsulent Magne Fjeld	Fjeld Rådgiving
Overingeniør Finn Fluge e.a	Vegdirektoratet
Avd. overlege, professor Erik Fosse	Rikshospitalet
Forsker Hilde Færevik	SINTEF Helse
Forsker Hans Christian Gran	FFI
Produktdesigner/1. amanuesis Tore Gulden	Viadesign/Høyskolen i Akershus
Forsker Rune H. Gaarder	SINTEF Materialer og kjemi
Rådgiver Line Amlid Hagen	Norges forskningsråd/Innovasjon
Forsknings sjef Einar Aasved Hansen	SINTEF Bygg og miljø
Forskningsleder Ole Jørgen Hanssen	Østfoldforskning
Rådgiver Birgit Hernes	Norges forskningsråd/Administrasjon
Teknisk sjef Jon Hernæs	Protan AS
Teknisk direktør Ole Roger Hole	CRS AS
Adm.dir. Geir Horrigno	NORUT Teknologi AS
Avdelingsleder Siri Hustad	Norconsult AS
Rådgiver Hanne Hvatum	Utdannings- og forskningsdepartementet
Forsknings sjef Oddvar Hyrve	Maxit AS
Professor Karl Vincent Høyseth	NTNU, Institutt for konstruksjonsteknikk
Instituttleder Finn Håkonsen	NTNU Inst. for byggekunst, historie og teknologi
Senior prosjektsjef Stein Hæskja	HÅG
Forskn.direktør/Professor Henrik Jakobsen	Sensor/HiV
Leder Project Helge Grini Johansen	Hydro Automotive Structures
Design Enc. Manager Inge Andre Johansen	Kongsberg Automotive
Teknisk sjef Raymond Johnsen	Devold AMT AS
Professor Roy Johnsen	NTNU
Rådgiver Tor E. Johnsen	Norges forskningsråd/Innovasjon
Professor Terje Kanstad	NTNU, Institutt for konstruksjonsteknikk
Fagkonsulent Marte O. Kittilsen	Norges naturvernforbund
Prosjektleder Knut O. Kjellsen	Norcem AS
Adm.dir. Bård Klungseth	Kongsberg Automotive
Professor Leiv Kolbeinsen	NTNU, materialteknologi
Overingeniør Alf Kveen	Vegdirektoratet
Spesialrådgiver Per Egil Kvaale	Statoil
Professor Magnus Langseth	NTNU, Inst. for konstruksjonsteknikk
Seniorrådgiver Jørn Lindstad	Norges forskningsråd/Innovasjon
Forsknings sjef Jan Ove Løland	Alcoa Automotive Castings SCC
Prosjektleder Elisabeth Magnus	Stiftelsen Miljømerking i Norge
Avdelings sjef Gro Markeset	NBI
Project manager Øyvind Mikkelsen	Elkem ASA Research
Administrativ leder Mona Moengen	Senter for materialvit og nanoteknologi
Dr.ing. Dag Anders Moldestad	AutoSock AS
Forsker Anne Ingeborg Myhr	Universitetet i Tromsø
Stipendiat Ole Møystad	NTNU Inst. for byggekunst, historie og teknologi
QA Manager Mette Lokna Nedreberg	Rolls-Royce Marine AS
Avdelings sjef Håvard Nes	Kongsberg Maritime
Seniorforsker Arne Nesje	SINTEF Teknologi og samfunn
Professor Truls Norby	Universitetet i Oslo

Sivilingeniør Bjarne Nordli	Spilka AS
Gruppeleder Per Nygård	Papir- og fiberinstituttet
Sivilingeniør Jan Erik Oddvald	VA-teknikk AS
Professor Kristina Oksman	NTNU, Inst. for produktutv. og materialer
Seniorrådgiver Claude R. Olsen	Teknomedia AS
Prosjektleder Dorothy Sutherland Olsen	daVinci Consulting
Senior Manager Jørn Olsen	Elopak R&D
Polymer Platform Mgr. Espen Ommundsen	Borealis AS
Utviklingssjef Tore Omtveit	Alertis Medical AS
PhD-student Linnea Petersson	NTNU, Plast og Kompositter
Gruppeleder Stein Ramberg	FMC Kongsberg Subsea
Divisjonsdirektør Karin Refsnes	Norges forskningsråd/Satsinger
Post.doc. Aase Reyes	NTNU, Inst. for konstruksjonsteknikk
Teknisk sjef Knut Risdal	Forestia AS
Seniorforsker Anne Rønning	Østfoldforskning
Head of Materials Techn. Jon Sandvik	Raufoss Techn. & Industrial Management AS
Prosjektleder FoU Bernt Saugen	Tomra Systems ASA
Professor Jan Siem	NTNU Inst. for byggekunst, historie og teknologi
Seniorforsker Christian Simon	SINTEF Materialer og kjemi
Designsjef Stig Olav Skeie	Think
Sivilarkitekt Børre Skodvin	AHO Institutt for arkitektur og designteknologi
Dr.ing. Nere G Skomedal	Umoe Ryving AS
Førstekonsulent Roy Skulbru	Nærings- og handelsdepartementet
Teknologiattaché og stasj.sjef Ove Solesvik	Innovasjon Norge, Boston Office
Forskningssjef Rudie Spooren	SINTEF Materialer og kjemi
Utviklingssjef Lars Stenerud	Plasto AS
Leder, Materialer Bjørn Torger Stokke	NTNU, Inst. for fysikk
Spesialrådgiver Reidar Stokke	SINTEF Materialer og kjemi
Avdelingssjef Vegard Strand	Rautaruuki Profiler
Forskningsdirektør Haumann Sundt	Moelven AS
Seksjonsleder Leonor Tarrason	Meteorologisk Institutt
Overingeniør Harald Thon	Hydro
Leder Nanolab Thomas Tybell	NTNU, Nanolab
Direktør Teknikk Per Ola Ulseth	Skanska AS
Gruppeleder plastmekanikk Ingrid Di Valerio	Laerdal Medical AS
Direktør C.J. Verberne	Nammo Raufoss AS
Sivilingeniør Bjørn Vik	BA8 Rådgivende Ingeniører AS
Spesialrådgiver Tone Vislie	Norges forskningsråd/Satsinger
Rådgiver Anne-Mari Voll	Fiskeri- og kystdepartementet
Direktør Jan R. Weitzenböck	DNV Research
Senior Designer Anna Øren	Hareide Designmill
Seniorforsker Finn Ørstavik	NIFU STEP
Forsker Audun Øvrum	NTI
Forsker Bjarte Øye	SINTEF Materialer og kjemi
Sivilingeniør Erik Ålgård	Multiconsult AS

AVANSERTE MATERIALER NORGE 2020

er Forskningsrådets fremtidsprosjekt for hvordan vi kan nå visjonen om Norge som en innovativ produsent og bruker av materialer i 2020. Material- og nanoteknologi er utløsende teknologier som vil være avgjørende for den fremtidige industrielle verdiskapingen og levestandarden i Norge.

Tre ulike fremtidsbilder ble tegnet av en rekke fageksperter, representanter fra ulike deler av næringslivet, offentlige og private beslutningstakere og meningsbærere. I tillegg til den omfattende scenarioprosessen har prosjektgruppen samlet et kunnskapsgrunnlag om status og muligheter for materialteknologi i Norge og internasjonalt.

Prosjektet har munnet ut i et sett med strategiske anbefalinger og forslag til prioriterte tiltak for forskningen på material- og nanoteknologi i Norge.

Kontaktperson for Avanserte materialer Norge 2020:

Spesialrådgiver Astrid Brenna
Telefon: 22 03 73 11
E-post: ab@forskningsradet.no

Kontaktperson for NANOMAT-programmet:

Programkoordinator Dag Høvik
Telefon: 22 03 73 69
E-post: dah@forskningsradet.no

www.forskningsradet.no/material2020

Vår utfordrende nano- og materialfremtid



Norges forskningsråd

Postboks 2700, St. Hanshaugen
N-0131 OSLO
Telefon: 22 03 70 00
Telefaks: 22 03 70 01
www.forskningsradet.no

ISBN: 82-12-02225-0